电 气 信 息 工 程 丛 书

西门子PLC
高级应用实例精解
第2版

主 编 向晓汉
副主编 王飞飞





本书配有90个源代码和12个视频文件
下载网址为 www.cmpbook.com



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

VISIT…

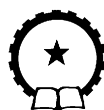
LANZAROTE
Caliente.com

电气信息工程丛书

西门子 PLC 高级应用实例精解

第 2 版

主　编　向晓汉
副主编　王飞飞
主　审　陆金荣



机 械 工 业 出 版 社

本书从实用的角度出发，用实例讲解西门子 S7-200/S7-1200/S7-300/S7-400 PLC 的高级应用，包括梯形图的编写方法、PLC 在过程控制中的应用、PLC 在运动控制中的应用、PLC 的通信及其通信模块的应用、PLC 在变频器调速系统中的应用、PLC 软件仿真和 PLC 故障诊断；用实际工程的开发过程详细介绍了每个实例，便于读者模仿学习；每个实例都有详细的软件、硬件配置清单，并配有接线图和程序。本书的配套资源中有重点内容的程序和操作视频资料。

本书既可供已入门的 PLC 工程技术人员参考，也可供高校教师和学生使用。

图书在版编目（CIP）数据

西门子 PLC 高级应用实例精解/向晓汉主编．—2 版．—北京：机械工业出版社，2015.9
（电气信息工程丛书）
ISBN 978-7-111-51393-3

Ⅰ.①西…　Ⅱ.①向…　Ⅲ.①plc 技术　Ⅳ.①TM571.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2015）第 206426 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号　邮政编码 100037）
策划编辑：时　静　　责任编辑：时　静
责任校对：张艳霞　　责任印制：李　洋
北京机工印刷厂印刷（三河市南杨庄国丰装订厂装订）
2016 年 7 月第 2 版·第 2 次印刷
184mm×260mm·23 印张·566 千字
3001-5500 册
标准书号：ISBN 978-7-111-51393-3
定价：59.80 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务	网络服务
服务咨询热线：（010）88361066	机 工 官 网：www.cmpbook.com
读者购书热线：（010）68326294	机 工 官 博：weibo.com/cmp1952
（010）88379203	教育服务网：www.cmpedu.com
封面无防伪标均为盗版	金 书 网：www.golden-book.com

前　言

随着计算机技术的发展，以可编程序控制器、变频器调速和计算机通信等技术为主体的新型电气控制系统已经逐渐取代传统的继电器电气控制系统，并广泛应用于各行业。由于西门子 PLC 所具有的卓越性能，使其在工控市场占有非常大的份额，应用十分广泛。但相当多的读者反映：尽管西门子的 PLC 已经入门，但对于 PLC 的通信、PLC 在过程控制中的应用和 PLC 在运动控制中的应用等“高级”技术无从下手，感觉很难，因此，为了使读者能更好地掌握相关知识，我们在总结长期的教学经验和工程实践的基础上，联合相关企业人员，共同编写了《西门子高级应用实例精解》第 1 版。这本书出版后深受好评，同时也收到热心读者的一些好的建议，加之 5 年来，西门子的软件和硬件不断升级，因此作者在第 1 版的基础上更新了部分软硬件，而且新增加了更多实用的工程实例，删减了部分过时的例子，形成本书的第 2 版。

在编写过程中，我们将一些生动的操作实例融入到实际中，以期提高读者的学习兴趣。本书与其他相关书籍相比，具有以下特点。

① 用实例引导读者学习。本书的内容全部用精选的例子讲解。例如，用例子说明现场总线通信的实现的全过程。

② 所有的例子都包含软硬件的配置方案图、接线图和程序，而且为确保程序的正确性，程序已经在 PLC 上运行通过。

③ 对于比较复杂的例子，与之配套的学习资源中有录像和程序源代码。如工业以太网通信的硬件组态较复杂，就配有录像和程序源代码，读者可以在出版社的网站（www. cmpbook. com）上下载，便于学习。

④ 本书内容实用，书中的实例容易被读者进行工程移植。

本书由向晓汉任主编，王飞飞任副主编，陆金荣高级工程师任主审。

全书共分 8 章。第 1、8 章由无锡职业技术学院的向晓汉编写；第 2 章由无锡小天鹅公司的李润海和苏高峰编写；第 3 章由无锡职业技术学院的林伟编写；第 4 章由桂林电子科技大学的向定汉编写；第 5 章由无锡雷华科技有限公司的陆彬和阳思惠编写；第 6 章由无锡雪浪环境科技股份有限公司的王飞飞编写；第 7 章由无锡雪浪环境科技股份有限公司的刘摇摇、王保银和宋昕编写。参加编写的还有唐克彬、孙腾飞、曹英强和钱晓忠。

由于编者水平有限，缺点和错误在所难免，敬请读者批评指正。

作　者

2015. 8

目　　录

前言
第 1 章　梯形图的编程方法与调试 …… 1
1.1　功能图 …… 1
1.1.1　功能图的画法 …… 1
1.1.2　梯形图编程的原则 …… 6
1.2　逻辑控制的梯形图编程方法 …… 7
1.2.1　经验设计法 …… 8
1.2.2　功能图设计法 …… 8
1.3　编程小技巧 …… 20
1.3.1　电动机的控制 …… 20
1.3.2　定时器和计数器应用 …… 23
1.3.3　取代特殊功能的小程序 …… 27
1.3.4　单键起停控制（乒乓控制） …… 28
1.4　仿真软件的应用 …… 29
1.4.1　S7-200 PLC 的仿真软件的使用 …… 29
1.4.2　S7-300/400 PLC 的仿真软件的使用 …… 31
1.5　S7-300/400 PLC 调试方法 …… 34
1.5.1　用变量监控表进行调试 …… 34
1.5.2　使用交叉参考和符号表的导入/输出 …… 38
1.6　综合应用 …… 40
第 2 章　PLC 在过程控制中的应用 …… 46
2.1　PID 控制简介 …… 46
2.1.1　PID 控制原理简介 …… 46
2.1.2　PID 控制的算法和图解 …… 47
2.1.3　PID 控制器的参数整定 …… 50
2.2　用 S7-200/300/400 PLC 进行电炉的温度控制 …… 50
2.2.1　利用 S7-200 PLC 进行电炉的温度控制 …… 50
2.2.2　利用 S7-300/400 PLC 进行电炉的温度控制 …… 60
第 3 章　PLC 在运动控制中的应用 …… 67
3.1　PLC 的步进电动机控制 …… 67
3.1.1　直接使用 PLC 的高速输出点控制步进电动机 …… 67
3.1.2　使用定位模块控制步进电动机 …… 77
3.1.3　S7-200 PLC 控制步进电动机的调速 …… 87
3.1.4　步进电动机的正反转 …… 89

3.2 PLC 的伺服控制 …… 91
3.2.1 直接使用 PLC 的高速输出点控制三菱伺服系统 …… 91
3.2.2 S7-200 PLC 的高速输出点控制西门子伺服系统 …… 94
3.2.3 使用现场总线控制伺服电系统 …… 104
第 4 章 PLC 的通信及其通信模块的应用 …… 122
4.1 通信基础知识 …… 122
4.1.1 通信的基本概念 …… 122
4.1.2 PLC 网络的术语解释 …… 123
4.1.3 RS-485 标准串行接口 …… 124
4.1.4 OSI 参考模型 …… 125
4.1.5 SIMATIC NET 工业网络 …… 126
4.2 现场总线概述 …… 127
4.2.1 现场总线的概念 …… 127
4.2.2 主流现场总线简介 …… 127
4.2.3 现场总线的特点 …… 128
4.2.4 现场总线的现状 …… 129
4.2.5 现场总线的发展 …… 129
4.3 PPI 通信 …… 129
4.3.1 PPI 协议简介 …… 129
4.3.2 S7-200 PLC 之间的 PPI 通信 …… 131
4.4 自由口通信 …… 138
4.4.1 自由口通信简介 …… 138
4.4.2 S7-200 PLC 之间的自由口通信 …… 140
4.4.3 智能设备与 S7-200 PLC 之间的自由口通信 …… 146
4.5 Modbus 通信 …… 150
4.5.1 Modbus 协议简介 …… 150
4.5.2 S7-200 PLC 之间的 Modbus 通信 …… 150
4.5.3 S7-1200 PLC 之间的 Modbus 通信 …… 156
4.6 MPI 通信 …… 160
4.6.1 MPI 通信简介 …… 160
4.6.2 S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的 MPI 通信 …… 161
4.6.3 S7-300 PLC 之间的 MPI 通信 …… 169
4.6.4 S7-300/400 PLC 与 S7-400 PLC 之间的 MPI 通信 …… 178
4.7 PROFIBUS-DP 通信 …… 181
4.7.1 PROFIBUS-DP 通信简介 …… 181
4.7.2 S7-300 PLC 与 ET200M 之间的 PROFIBUS-DP 通信 …… 184
4.7.3 S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 通信 …… 189
4.7.4 S7-300 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 通信 …… 198
4.8 以太网通信 …… 207

4.8.1 以太网通信简介 …… 207
4.8.2 S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的以太网通信 …… 209
4.8.3 S7-300 PLC 之间的以太网通信 …… 217
4.8.4 S7-400 PLC 与远程 IO 模块 ET200 之间的 PROFINET 通信 …… 224
第 5 章 PLC 在变频器调速系统中的应用 …… 230
5.1 西门子 MM440 变频器 …… 230
5.1.1 认识变频器 …… 230
5.1.2 西门子 MM440 变频器使用简介 …… 232
5.2 变频器多段速度给定 …… 236
5.3 变频器模拟量速度给定 …… 242
5.3.1 模拟量模块简介 …… 242
5.3.2 模拟量速度给定（利用 S7-200 PLC） …… 244
5.3.3 模拟量速度给定（利用 S7-300 PLC） …… 247
5.4 变频器的通信速度给定 …… 250
5.4.1 MM440 变频器通信的基本知识 …… 250
5.4.2 S7-200 PLC 与 MM440 变频器的 USS 通信速度给定 …… 253
5.4.3 S7-300 PLC 与 MM440 变频器的场总线通信速度给定 …… 258
5.4.4 S7-300 PLC 通过 PROFIBUS 现场总线修改 MM440 变频器的参数 …… 265
第 6 章 西门子 S7-300/400 PLC 的故障诊断技术 …… 271
6.1 PLC 控制系统的故障诊断概述 …… 271
6.1.1 引发 PLC 故障的外部因素 …… 271
6.1.2 PLC 的故障类型和故障信息 …… 272
6.1.3 PLC 故障诊断方法 …… 273
6.1.4 PLC 外部故障诊断方法 …… 274
6.2 S7-300/400 PLC 故障诊断技术 …… 277
6.2.1 使用状态和出错 LED 进行故障诊断 …… 277
6.2.2 用 STEP7 快速视图进行故障诊断 …… 280
6.2.3 用通信块（如 SFB15）的输出参数/返回值（RET_VAL）诊断故障 …… 287
6.2.4 用组织块的故障诊断 …… 288
6.2.5 用 SFC13 进行故障诊断 …… 296
6.2.6 各种故障诊断的比较 …… 300
6.3 工程常见调试和故障诊断 30 例 …… 301
第 7 章 西门子 PLC 其他应用技术 …… 311
7.1 高速计数器的应用 …… 311
7.1.1 高速计数器简介 …… 311
7.1.2 高速计数器在转速测量中的应用 …… 316
7.2 其他技巧/难点 …… 318
7.2.1 安装 STEP7 注意事项 …… 318
7.2.2 创建和使用 S7-200 PLC 的库函数 …… 319

7.2.3　指针的应用 …… 322
7.2.4　自定义数据类型 UDT 的应用 …… 323
第 8 章　西门子 PLC 工程应用案例 …… 326
8.1　压力数据采集 PLC 控制系统 …… 326
8.1.1　系统软硬件配置 …… 326
8.1.2　编写控制程序 …… 326
8.2　物料搅拌机 PLC 控制系统 …… 331
8.2.1　系统软硬件配置 …… 332
8.2.2　编写控制程序 …… 333
8.3　定长剪切机 PLC 控制系统 …… 335
8.3.1　系统软硬件配置 …… 336
8.3.2　编写控制程序 …… 337
8.4　啤酒灌装线系统 PLC 控制系统 …… 341
8.4.1　系统软硬件配置 …… 342
8.4.2　编写控制程序 …… 344
8.5　往复运动小车 PLC 控制系统 …… 350
8.5.1　系统软硬件配置 …… 351
8.5.2　编写控制程序 …… 353
参考文献 …… 358

第 1 章　梯形图的编程方法与调试

本章介绍功能图的画法、梯形图的禁忌以及如何根据功能图用基本指令、功能指令、顺控制令和复位置位指令 4 种方法编写顺序控制梯形图。另一个重要的内容是程序的调试方法。

1.1　功能图

1.1.1　功能图的画法

功能图（SFC）是描述控制系统的控制过程、功能和特征的一种图解表示方法。它具有简单、直观等特点，不涉及控制功能的具体技术，是一种通用的语言，是 IEC（国际电工委员会）首选的编程语言，近年来在 PLC 的编程中已经得到了普及与推广。在 IEC848 中称顺序功能图，在我国国家标准 GB6988-2008 中称功能表图。西门子称为图形编程语言 S7-Graph 和 S7-HiGraph。

顺序功能图是设计 PLC 顺序控制程序的一种工具，适合于系统规模较大、程序关系较复杂的场合，特别适合于对顺序操作的控制。在编写复杂的顺序控制程序时，采用 S7-Graph 和 S7-HiGraph 比梯形图更加直观。

功能图的基本思想是：设计者按照生产要求，将被控设备的一个工作周期划分成若干个工作阶段（简称“步”），并明确表示每一步要执行的输出，“步”与“步”之间通过制定的条件进行转换。在程序中，只要通过正确连接进行“步”与“步”之间的转换，就可以完成被控设备的全部动作。

PLC 执行功能图程序的基本过程是：根据转换条件选择工作“步”，进行“步”的逻辑处理。组成功能图程序的基本要素是步、转换条件和有向连线，如图 1-1 所示。

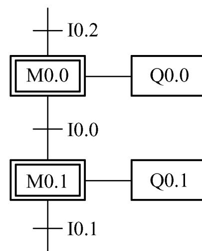


图 1-1　功能图

1. 步

一个顺序控制过程可分为若干个阶段，也称为步或状态。系统初始状态对应的步称为初始步，初始步一般用双线框表示。在每一步中施控系统要发出某些“命令”，而被控系统要完成某些“动作”，“命令”和“动作”都称为动作。当系统处于某一工作阶段时，则该步处于激活状态，称为活动步。

2. 转换条件

使系统由当前步进入下一步的信号称为转换条件。顺序控制设计法用转换条件控制代表各步的编程元件，让它们的状态按一定的顺序变化，然后用代表各步的编程元件去控制输出。不同状态的“转换条件”可以不同，也可以相同。当“转换条件”各不相同时，在功能图程序中每次只能选择其中一种工作状态（称为“选择分支”）；当“转换条件”都相同时，在功能图程序中每次可以选择多个工作状态（称为“选择并行分支”）。只有满足条件状态，

才能进行逻辑处理与输出。因此，“转换条件”是功能图程序选择工作状态（步）的“开关”。

3. 有向连线

步与步之间的连接线称为“有向连线”，“有向连线”决定了状态的转换方向与转换途径。在有向连线上有短线，表示转换条件。当条件满足时，转换得以实现，即上一步的动作结束而下一步的动作开始，因而不会出现动作重叠。步与步之间必须要有转换条件。

图 1-1 中的双框为初始步，M0.0 和 M0.1 是步名，I0.0、I0.1 为转换条件，Q0.0、Q0.1 为动作。当 M0.0 有效时，输出指令驱动 Q0.0。步与步之间的连线称为有向连线，它的箭头省略未画。

4. 功能图的结构分类

根据步与步之间的进展情况，功能图分为以下 4 种结构。

（1） 单一顺序

单一顺序动作是一个接一个地完成，完成每步只连接一个转移，每个转移只连接一个步，如图 1-3 和图 1-4 所示的功能图和梯形图是一一对应的。以下用“起保停电路”来讲解功能图和梯形图的对应关系。

为了便于将顺序功能图转换为梯形图，采用代表各步的编程元件的地址（比如 M0.2）作为步的代号，并用编程元件的地址来标注转换条件和各步的动作和命令，当某步对应的编程元件置 1，代表该步处于活动状态。

① 起保停电路对应的布尔代数式。标准的起保停梯形图如图 1-2 所示，图中 I0.0 为 M0.2 的起动条件，当 I0.0 置 1，M0.2 得电；I0.1 为 M0.2 的停止条件，当 I0.1 置 1，M0.2 断电；M0.2 的辅助触头为 M0.2 的保持条件。该梯形图对应的布尔代数式为

$$M0.2 = (I0.0 + M0.2) \cdot \overline{I0.1}$$

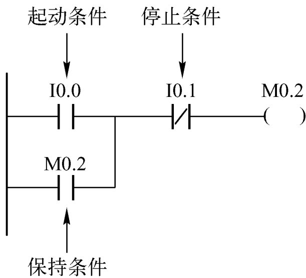


图 1-2　标准的“起保停”梯形图

② 顺序控制梯形图储存位对应的布尔代数式。如图 1-3a 所示的功能图，M0.1 转换为活动步的条件是 M0.1 步的前一步是活动步，相应的转换条件（I0.0）得到满足，即 M0.1 的起动条件为 M0.0 * I0.0。当 M0.2 转换为活动步后，M0.1 转换为不活动步，因此，M0.2 可以看成 M0.1 的停止条件。由于大部分转换条件都是瞬时信号，即信号持续的时间比它激活的后续步的时间短，因此应当使用有记忆功能的电路控制代表步的储存位。在此情况下，起动条件、停止条件和保持条件全部都有，就可以用起保停方法来设计顺序功能图的布尔代数式和梯形图。顺序控制功能图中储存位对应的布尔代数式如图 1-3b 所示，参照图 1-2 所示的标准“起保停”梯形图，就可以轻松地将图 1-3 所示的顺序功能图转换为如图 1-4 所示的梯形图。

（2） 选择顺序

选择顺序是指某一步后有若干个单一顺序等待选择，称为分支，一般只允许选择进入一个顺序，转换条件只能标在水平线之下。选择顺序的结束称为合并，用一条水平线表示，水平线以下不允许有转换条件，如图 1-5 所示。

（3） 并行顺序

并行顺序是指在某一转换条件下同时起动若干个顺序，也就是说转换条件实现导致几个分支同时激活。并行顺序的开始和结束都用双水平线表示，如图 1-6 所示。

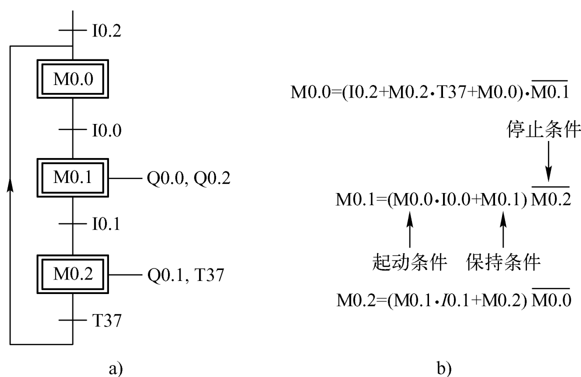


图 1-3　顺序功能图和对应的布尔代数式
a）功能图　b）布尔代数式

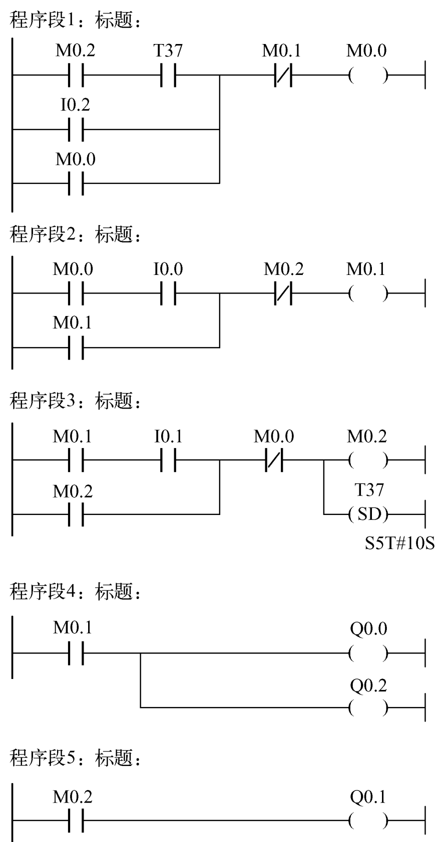


图 1-4　梯形图

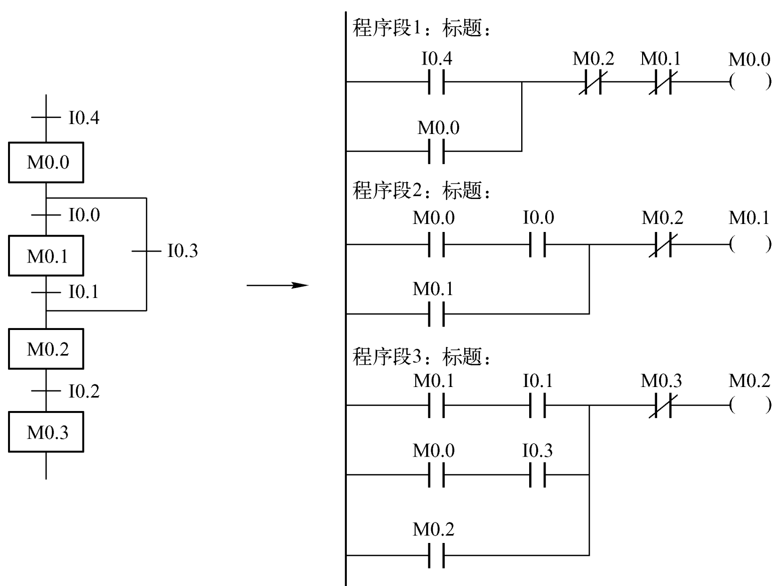


图 1-5　选择顺序

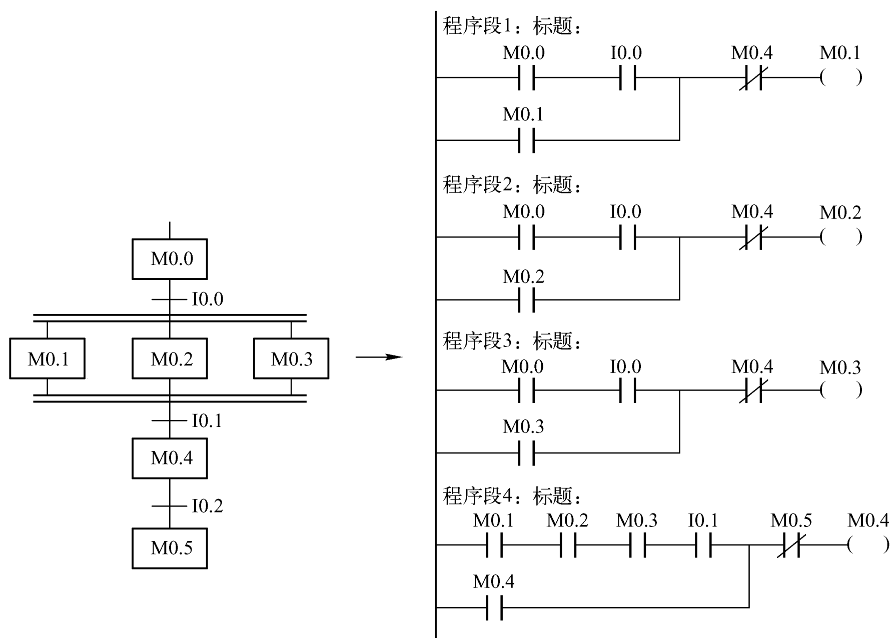


图 1–6　并行顺序

（4）选择序列和并行序列的综合

如图 1–7 所示，步 M0.0 之后有一个选择序列的分支，设 M0.0 为活动步，当它的后续步 M0.1 或 M0.2 变为活动步时，M0.0 变为不活动步，即 M0.0 为 0 状态，所以应将 M0.1 和 M0.2 的常闭触头与 M0.0 的线圈串联。

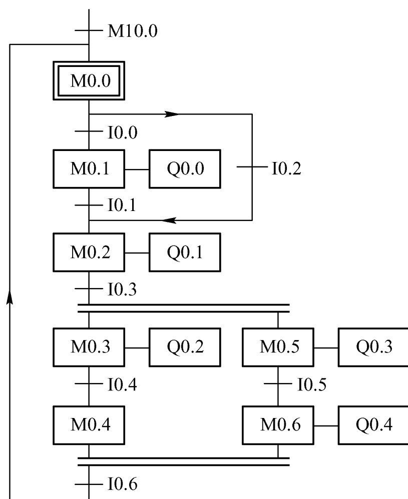


图 1–7　选择序列和并行序列功能图

步 M0.2 之前有一个选择序列合并，当步 M0.1 为活动步（即 M0.1 为 1 状态），并且转换条件 I0.1 满足，或者步 M0.0 为活动步，并且转换条件 I0.2 满足，步 M0.2 变为活动步，所以该步的存储器 M0.2 的起保停电路的起动条件为 M0.1 · I0.1 + M0.0 · I0.2，对应的起动电路由两条并联支路组成。

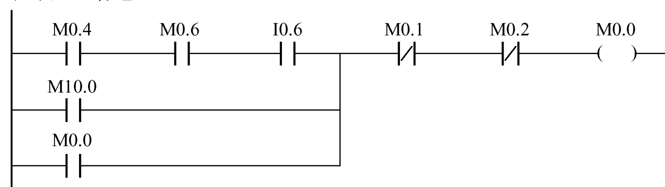
步 M0.2 之后有一个并行序列分支，当步 M0.2 是活动步并且转换条件 I0.3 满足时，步 M0.3 和步 M0.5 同时变成活动步，这时用 M0.2 和 I0.3 常开触头组成的串联电路，分别作为 M0.3 和 M0.5 的起动电路来实现，与此同时，步 M0.2 变为不活动步。

步 M0.0 之前有一个并行序列的合并，该转换实现的条件是所有的前级步（即 M0.4 和 M0.6）都是活动步和转换条件 I0.6 满足。由此可知，应将 M0.4、M0.6 和 I0.6 的常开触头串联，作为控制 M0.0 的起保停电路的启动电路。图 1–7 所示的功能图所对应的梯形图如图 1–8 所示。

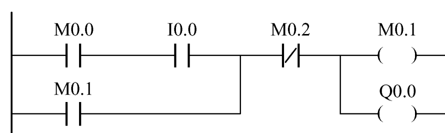
5. 功能图设计的注意点

1）状态之间要有转换条件。如图 1–9 所示，状态之间缺少“转换条件”是不正确的，应改成如图 1–10 所示的功能图。必要时转换条件可以简化，如将图 1–11 简化成图 1–12。

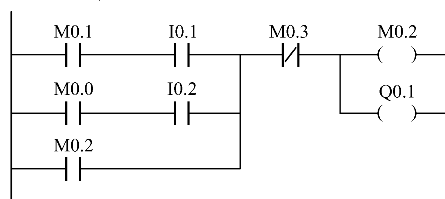
程序段1：标题：



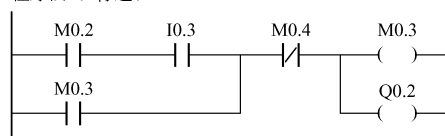
程序段2：标题：



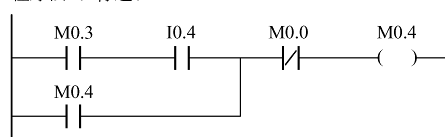
程序段3：标题：



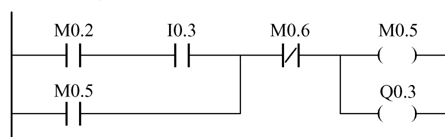
程序段4：标题：



程序段5：标题：



程序段6：标题：



程序段7：标题：

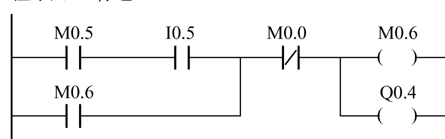
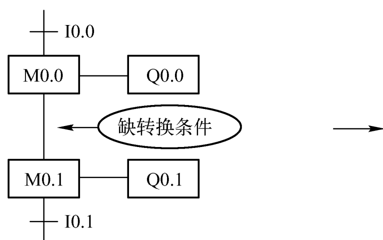


图 1-8　梯形图

2）转换条件之间不能有分支。例如，图 1-13 应该改成如图 1-14 所示的合并后的功能图，合并转换条件。

3）顺序功能图中的初始步对应于系统等待启动的初始状态，初始步是必不可少的。

4）顺序功能图中一般应有由步和有向连线组成的闭环。



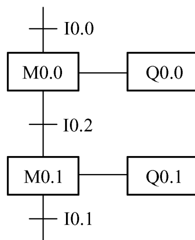
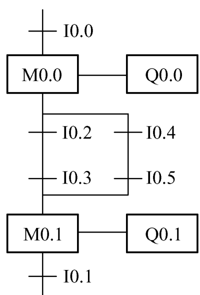


图 1-9　错误的功能图　　　图 1-10　正确的功能图



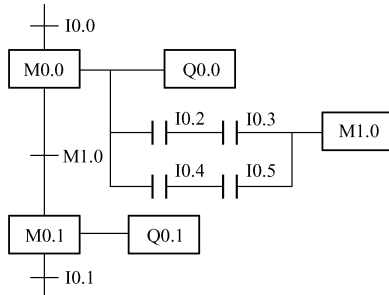
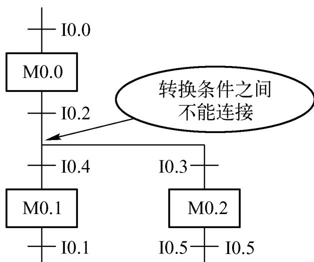


图 1-11　简化前的功能图　　　图 1-12　简化后的功能图



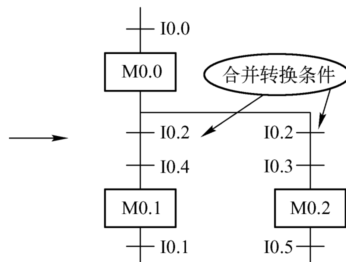


图 1-13　错误的功能图　　　图 1-14　合并后的功能图

1.1.2　梯形图编程的原则

尽管梯形图与继电器电路图在结构形式、元件符号及逻辑控制功能等方面相类似，但它们又有许多不同之处，梯形图的编程规则有如下几点。

1）每一逻辑行总是起于左母线，最后终止于线圈或右母线（右母线可以不画出），如图 1-15 所示。

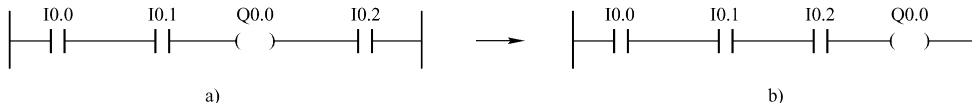


图 1-15　梯形图

a）错误　b）正确

2）无论选用哪种机型的 PLC，所用元件的编号必须在该机型的有效范围内。例如，S7-300 PLC 中没有 M99000.0。

3）梯形图中的触点可以任意串联或并联，但线圈只能并联而不能串联。

4）触点的使用次数不受限制。例如，辅助继电器 M0.0 可以在梯形图中出现无限制的

次数，而实物继电器的触点一般少于 8 对，只能用有限次。

5）在梯形图中同一线圈只能出现一次。如果在程序中，同一线圈使用了两次或多次，称为“双线圈输出”。对于“双线圈输出”，有些 PLC 将其视为语法错误，绝对不允许（如三菱 FX 系列 PLC）；有些 PLC 则将前面的输出视为无效，只有最后一次输出有效（如西门子 PLC）；而有些 PLC 在含有跳转指令或步进指令的梯形图中允许双线圈输出。

6）西门子 PLC 的梯形图中不能出现 I 线圈。

7）对于不可编程的梯形图必须经过等效变换，变成可编程梯形图，如图 1-16 所示。

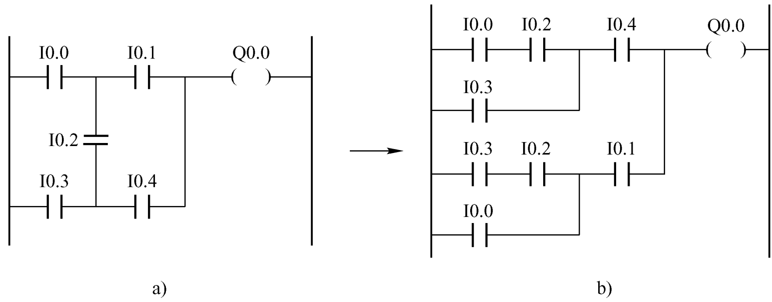


图 1-16　梯形图

a）错误　b）正确

8）在有几个串联电路相并联时，应将串联触点多的回路放在上方，归纳为“多上少下”的原则，如图 1-17b 所示。在有几个并联电路相串联时，应将并联触点多的回路放在左方，归纳为“多左少右”原则，如图 1-18b 所示。因为这样所编制的程序简洁明了，语句较少。但要注意图 1-17a 和图 1-18a 的梯形图逻辑上是正确的。

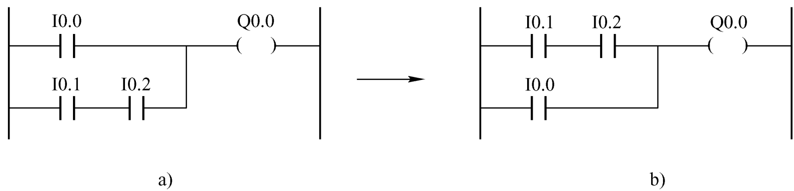


图 1-17　梯形图

a）不合理　b）合理

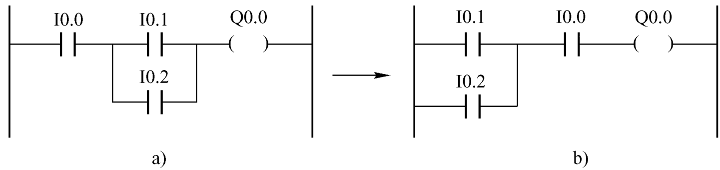


图 1-18　梯形图

a）不合理　b）合理

1.2　逻辑控制的梯形图编程方法

相同的硬件系统，由不同的人设计，可能设计出不同的程序，有的人设计的程序简洁而且可靠，而有的人设计的程序虽然能完成任务，但较复杂。PLC 程序设计是有规律可循的，

下面介绍两种方法：经验设计法和功能图设计法。

1.2.1　经验设计法

经验设计法就是在一些典型梯形图的基础上，根据具体的对象对控制系统的具体要求，对原有的梯形图进行修改和完善。这种方法适合有一定工作经验的人，这些人有现成的资料，特别在产品更新换代时，使用这种方法比较节省时间。下面举例说明这种方法的思路。

【例 1-1】 图 1-19 所示为小车运输系统的示意图和 I/O 接线图，SQ1、SQ2、SQ3 和 SQ4 是限位开关，小车先左行，在 SQ1 处装料，10s 后右行，到 SQ2 后停止卸料 10s 后左行，碰到 SQ1 后停下装料，如此不停循环工作，限位开关 SQ3 和 SQ4 的作用是当 SQ2 或者 SQ1 失效时，SQ3 和 SQ4 起保护作用，SB1 和 SB2 是起动按钮，SB3 是停止按钮。

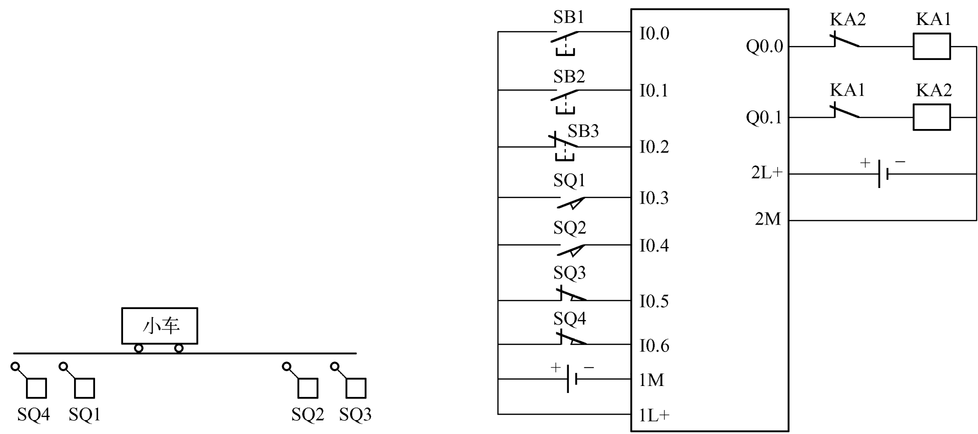


图 1-19　小车运输系统的示意图和 I/O 接线图

【解】

小车左行和右行是不能同时进行的，因此有联锁关系，与电动机的正、反转的梯形图类似，因此先画出电动机正、反转控制的梯形图，如图 1-20 所示，再在此梯形图的基础上进行修改，增加 4 个限位开关的输入，增加两个定时器，就变成了图 1-21 所示的梯形图。

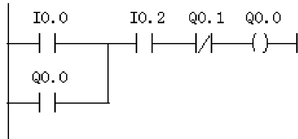
1.2.2　功能图设计法

也称为“起保停”设计法。对于比较复杂的逻辑控制，用经验设计法不合适，适合用功能图设计法。功能图设计法无疑是应用最为广泛的设计方法。功能图即顺序功能图，功能图设计法是先根据系统的控制要求画出功能图，再根据功能图画梯形图，梯形图可以是基本指令梯形图，也可以是顺控指令梯形图和功能指令梯形图。因此，设计功能图是整个设计过程的关键，也是难点。

1. 起保停设计方法的基本步骤

1）绘制顺序功能图。使用“起保停”设计方法设计梯形图时，要根据控制要求先绘制出顺序功能图，顺序功能图的绘制方法在前面章节中已经详细讲解，在此不再重复。

2）写出储存器位的布尔代数式。对应于顺序功能图中的每一个储存器位都可以写出如图 1-22 所示的布尔代数式。图中等号左边的 M_i 为第 i 个储存器位的状态，等号左边的 M_i 为第 i 个储存器位的常开触头，X_i 为第 i 个工步所对应的转换信号，M_{i-1} 为第 $i-1$ 个储存器位



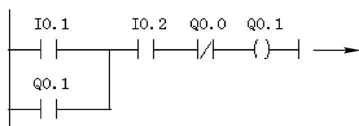
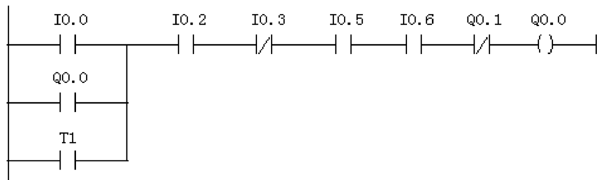
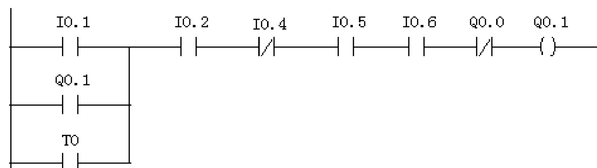
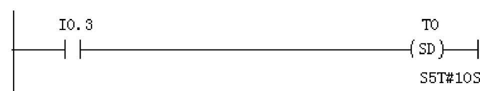


图 1–20 电动机正、反转控制的梯形图







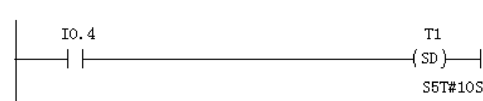


图 1–21 小车运输系统的梯形图

的常开触头，$\overline{M_{i+1}}$为第 $i+1$ 个储存器位的常闭触头。

3）写出执行元件的逻辑函数式。执行元件为顺序功能图中的储存器位所对应的动作。一个步通常对应一个动作，输出和对应步的储存器位的线圈并联或者在输出线圈前串接一个对应步的储存器位的常开触头。当功能图中有多个步对应同一动作时，其输出可用这几个步对应的储存器位的“或”来表示，如图 1–23 所示。

$$M_i=(X_i\cdot M_{i-1}+M_i)\cdot\overline{M_{i+1}}$$

图 1–22 存储器位的布尔代数式

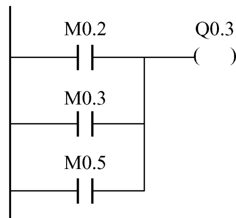


图 1–23 多个步对应同一动作时的梯形图

4）设计梯形图。在完成前 3 个步骤的基础上，可以顺利设计出梯形图。

2. 利用基本指令编写梯形图指令

用基本指令编写梯形图指令是最容易被想到的方法，不需要了解较多的指令。采用这种方法编写程序的过程是：先根据控制要求设计正确的功能图，再根据功能图写出正确的布尔表达式，最后根据布尔表达式画基本指令梯形图。以下用一个例子讲解利用基本指令编写梯形图指令的方法。

【例 1–2】步进电动机是一种将电脉冲信号转换为电动机旋转角度的执行机构。当步进驱

动器接收到一个脉冲，就驱动步进电动机按照设定的方向旋转一个固定的角度（称为步距角）。因此步进电动机是按照固定的角度一步一步转动的。可以通过脉冲数量控制步进电动机的运行角度，并通过相应的装置，控制运动的过程。对于四相八拍的步进电动机。其控制要求如下：

1）按下起动按钮，定子磁极通电过程如图 1-24 所示，先 A 通电，1 s 后 A、B 同时通电；再过 1 s，B 通电，同时 A 失电；再过 1 s，B、C 同时通电……，以此类推。

2）有 2 种工作模式。工作模式 1 时，按下“停止”按钮，完成一个工作循环后，停止工作；工作模式 2 时，具有锁相功能，当按下“停止”按钮后，停止在通电的绕组上，下次按下“起动”按钮时，从上次停止的线圈开始通断电工作。

3）无论何种工作模式，只要按下“急停”按钮，系统所有线圈立即断电。

【解】

接线图如图 1-25 所示，根据题意很容易画出功能图，如图 1-26 所示。根据功能图编写梯形图程序，如图 1-27 和图 1-28 所示。

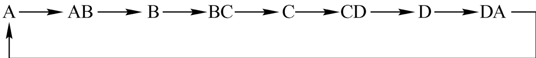


图 1-24　通电过程图

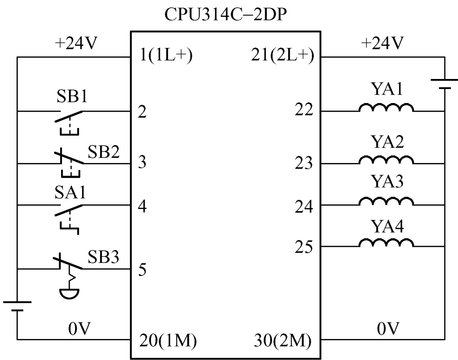


图 1-25　接线图

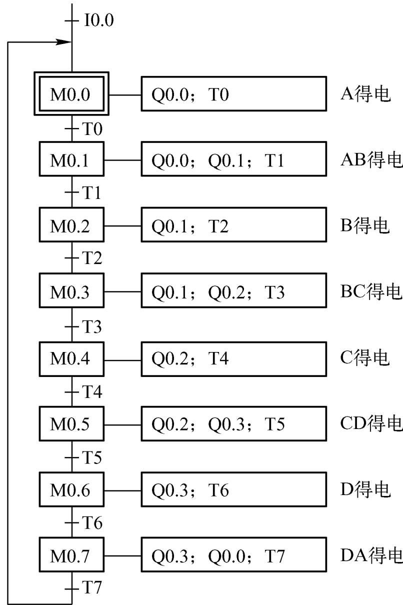


图 1-26　功能图

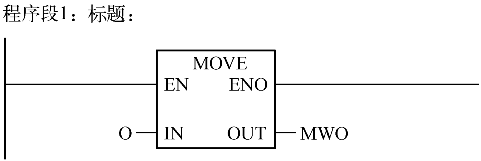
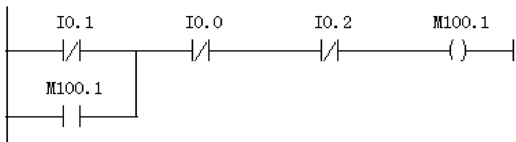
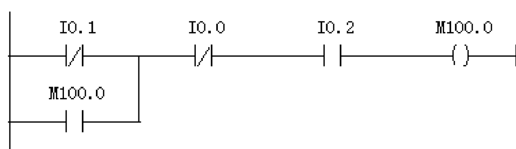


图 1-27　OB100 中的程序

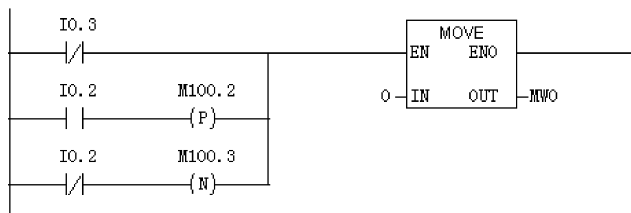
程序段 1：模式1



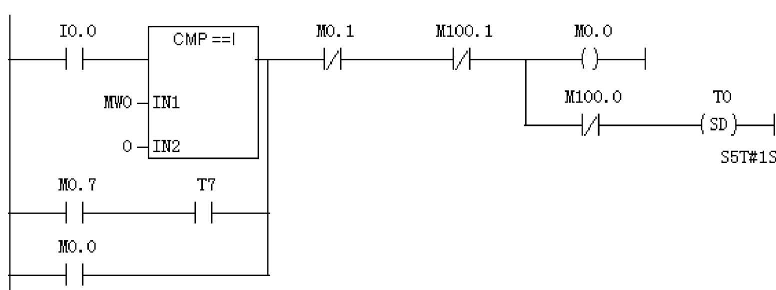
程序段 2：模式2



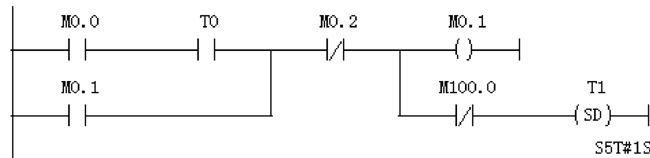
程序段 3：急停和模式转换



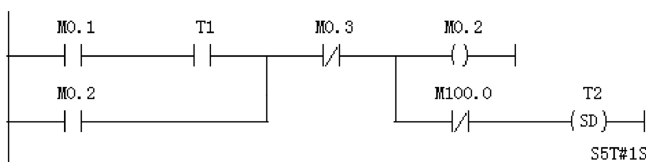
程序段 4：标题：



程序段 5：标题：



程序段 6：标题：



程序段 7：标题：

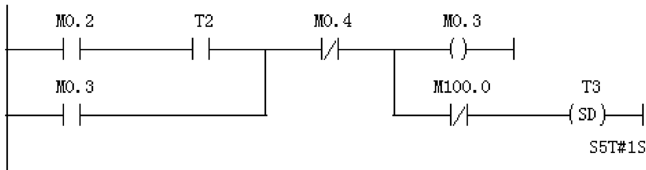
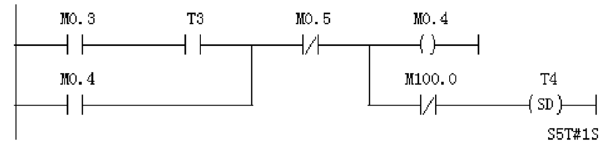
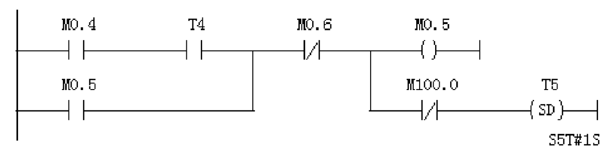


图 1-28　OB1 中的程序

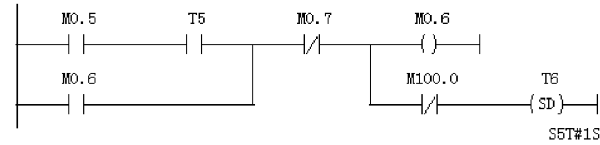
程序段 8：标题：



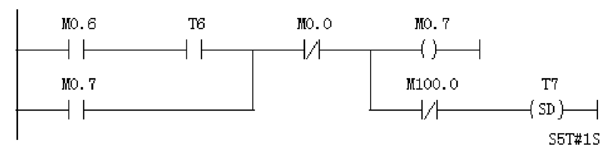
程序段 9：标题：



程序段 10：标题：



程序段 11：标题：



程序段 12：标题：



程序段 13：标题：



程序段 14：标题：



程序段 15：标题：

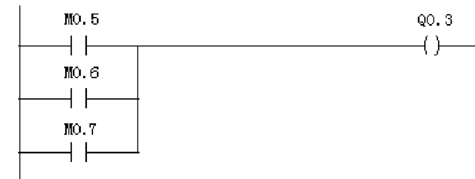


图 1-28　OB1 中的程序（续）

3. 利用功能指令编写逻辑控制程序

西门子的功能指令有许多特殊功能，其中移位指令和循环指令非常适用于顺序控制，用这些指令编写程序简洁而且可读性强。以下用一个例子讲解利用功能指令编写逻辑控制程序。

【例 1–3】用功能指令编写例 1–2 的程序。

【解】

梯形图如图 1–29 和图 1–30 所示。

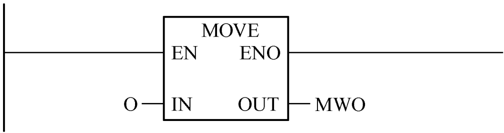
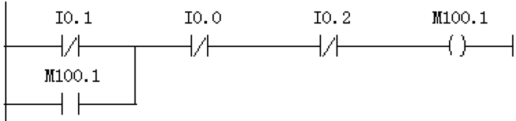
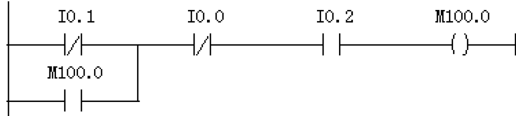
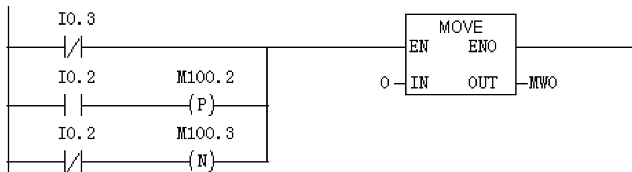
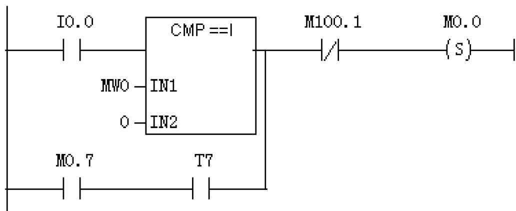


图 1–29　OB100 中的程序









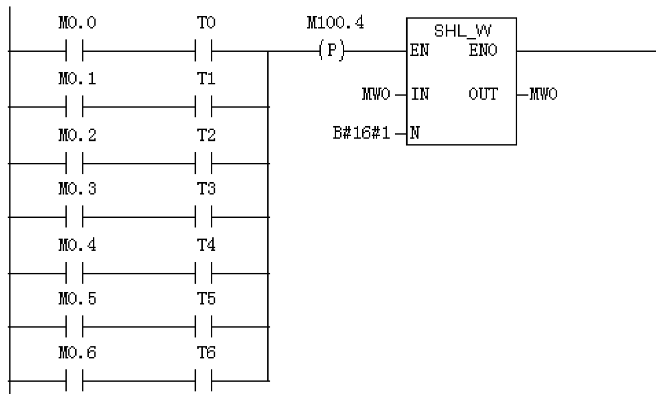
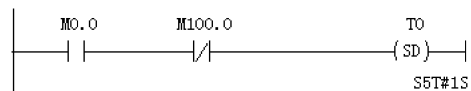
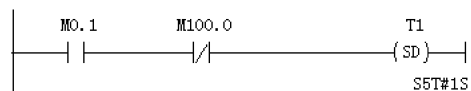


图 1–30　OB1 中的程序

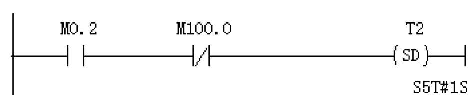
程序段 6：标题：



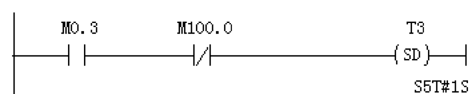
程序段 7：标题：



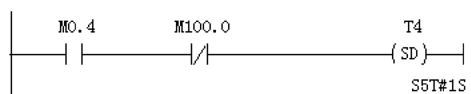
程序段 8：标题：



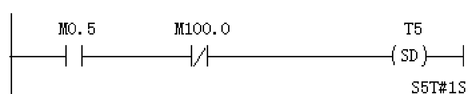
程序段 9：标题：



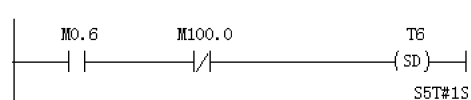
程序段 10：标题：



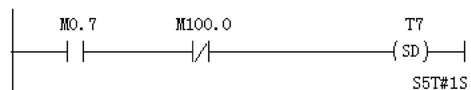
程序段 11：标题：



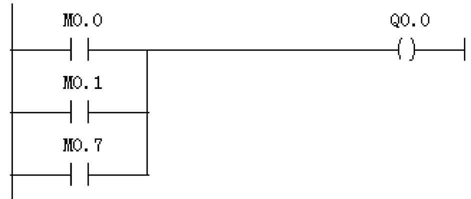
程序段 12：标题：



程序段 13：标题：



程序段 14：标题：



程序段 15：标题：

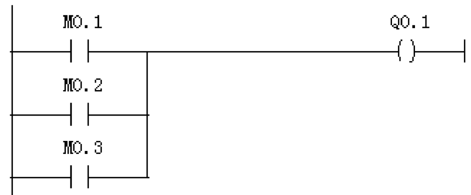
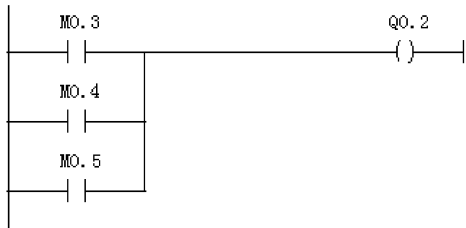


图 1-30　OB1 中的程序（续）



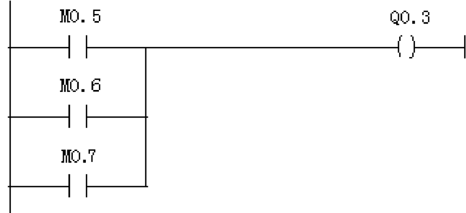


图 1-30　OB1 中的程序（续）

4. 利用复位和置位指令编写逻辑控制程序

复位和置位指令是常用指令，用复位和置位指令编写程序简洁而且可读性强。以下用一个例子讲解利用复位和置位指令编写逻辑控制程序。

【例 1-4】 用复位和置位指令编写例 1-2 的程序。

【解】

梯形图如图 1-31 和图 1-32 所示。

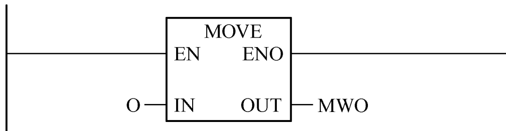


图 1-31　OB100 中的程序

5. 利用顺控指令编写逻辑控制程序

功能图和顺控指令梯形图有一一对应关系，利用顺控指令编写逻辑控制程序有固定的模式，顺控指令是专门为逻辑控制设计的指令，利用顺控指令编写逻辑控制程序是非常合适的。以下用一个例子讲解利用顺控指令编写逻辑控制程序。

【例 1-5】 用顺控指令编写例 1-2 的程序。

【解】

本例用 S7-200 机型，功能图如图 1-33 所示，梯形图如图 1-34 所示。

至此，同一个顺序控制的问题使用了基本指令、复位/置位指令、功能指令和顺控制令 4 种解决方案编写程序。4 种解决方案的编程都有各自固定的步骤，但有一步是相同的，那就是首先都要画功能图。4 种解决方案没有好坏之分，读者可以根据自己的喜好选用。顺便指出，熟练的工程师在编写不长的程序时，可以不画流程图。

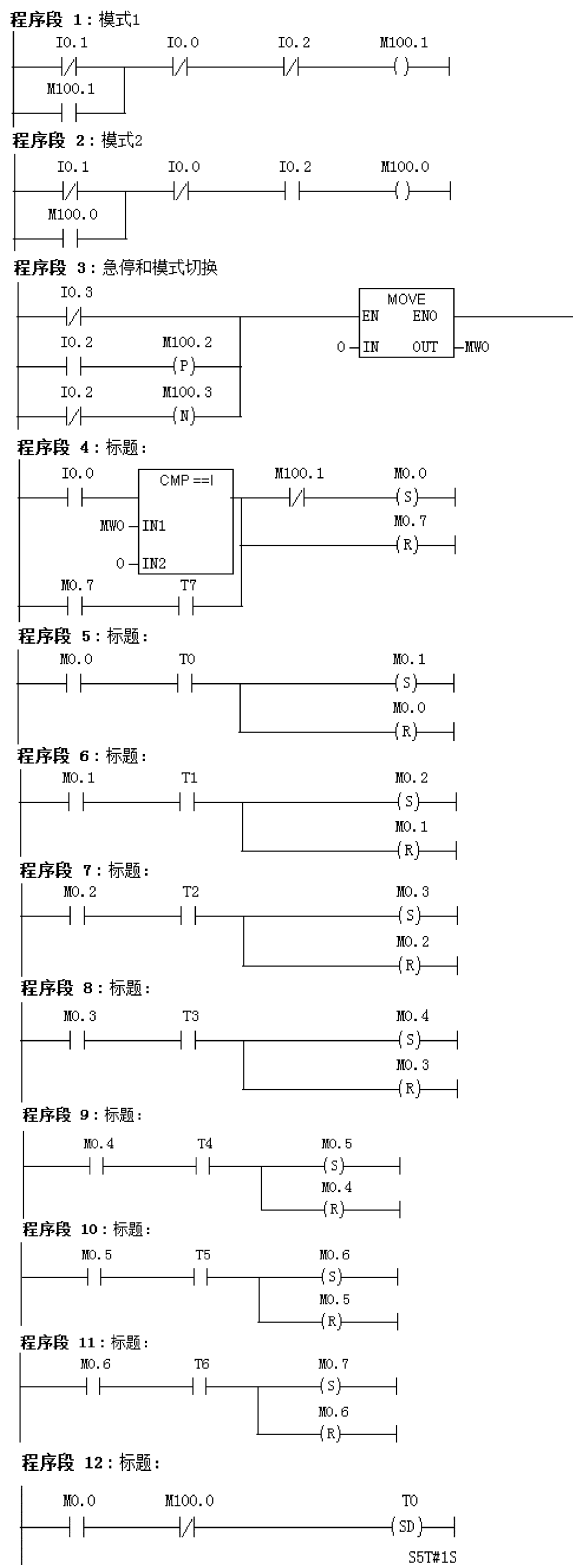
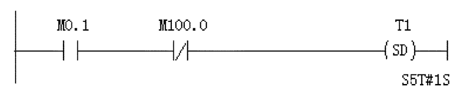
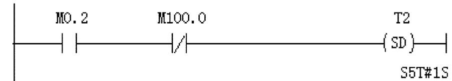


图 1-32　OB1 中的程序

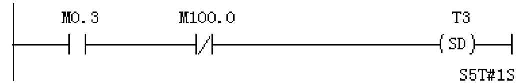
程序段 13：标题：



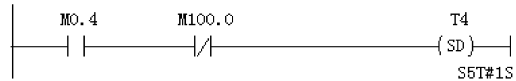
程序段 14：标题：



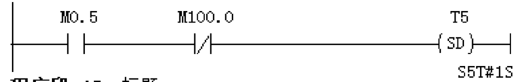
程序段 15：标题：



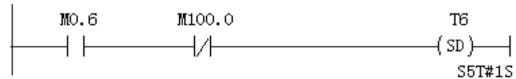
程序段 16：标题：



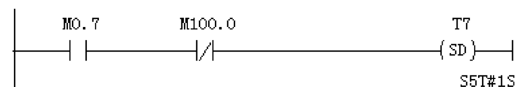
程序段 17：标题：



程序段 18：标题：



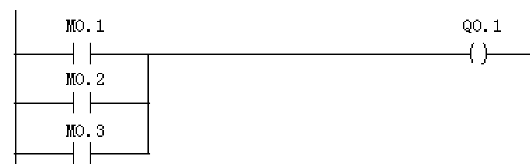
程序段 19：标题：



程序段 20：标题：



程序段 21：标题：



程序段 22：标题：



程序段 23：标题：

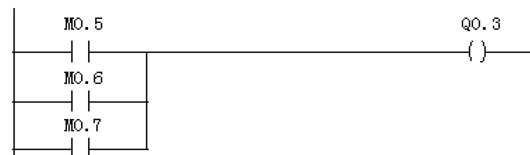
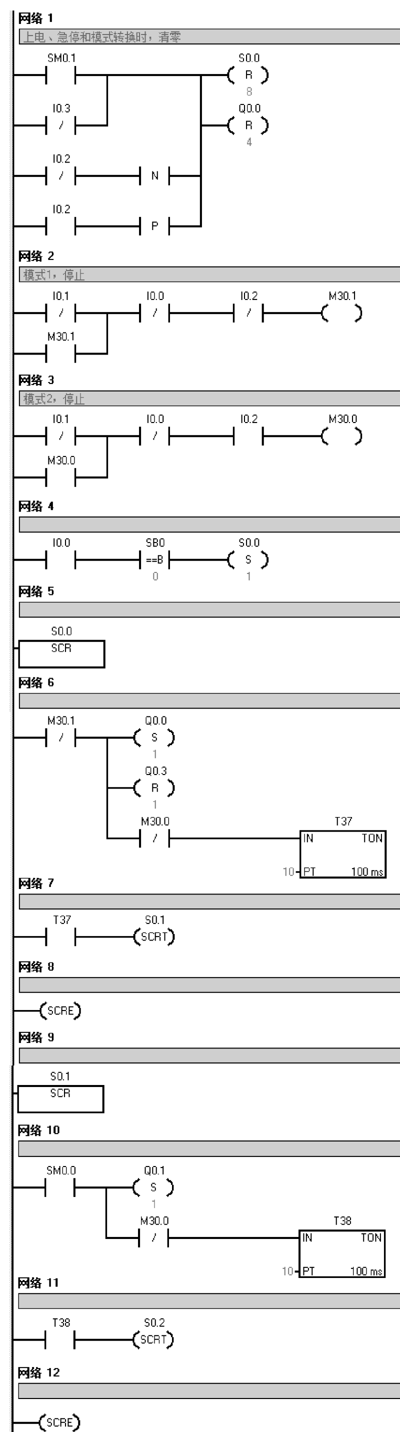


图 1-32　OB1 中的程序（续）



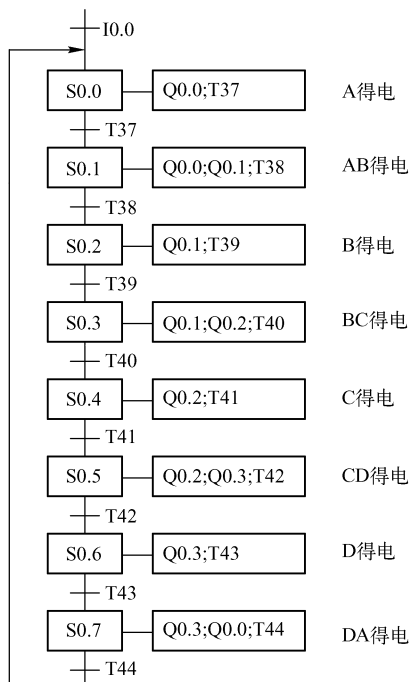


图 1-33　功能图

图 1-34　梯形图

网络 13

S0.2
SCR

网络 14

SM0.0 Q0.0 R 1
M30.0 / T39 IN TON
10 PT 100 ms

网络 15

T39 S0.3 SCRT

网络 16

SCRE

网络 17

S0.3
SCR

网络 18

SM0.0 Q0.2 S 1
M30.0 / T40 IN TON
10 PT 100 ms

网络 19

T40 S0.4 SCRT

网络 20

SCRE

网络 21

S0.4
SCR

网络 22

SM0.0 Q0.1 R 1
M30.0 / T41 IN TON
10 PT 100 ms

网络 23

T41 S0.5 SCRT

网络 24

SCRE

网络 25

S0.5
SCR

网络 26

SM0.0 Q0.3 S 1
M30.0 / T42 IN TON
10 PT 100 ms

网络 27

T42 S0.6 SCRT

网络 28

SCRE

网络 29

S0.6
SCR

网络 30

SM0.0 Q0.2 R 1
M30.0 / T43 IN TON
10 PT 100 ms

网络 31

T43 S0.7 SCRT

网络 32

SCRE

网络 33

S0.7
SCR

网络 34

SM0.0 Q0.0 S 1
M30.0 / T44 IN TON
10 PT 100 ms

网络 35

T44 S0.0 SCRT

网络 36

SCRE

图 1–34　梯形图（续）

1.3 编程小技巧

1.3.1 电动机的控制

电动机的控制在梯形图的编写中极为常见，多以一个程序中的一个片段出现。以下列举几个常见的例子。

【例 1-6】 设计电动机点动控制的梯形图和接线图。

【解】

（1）方法 1

最容易想到的原理图和梯形图如图 1-35 和图 1-36 所示。但如果程序用到置位指令（S Q0.0），则这种解法不可用。

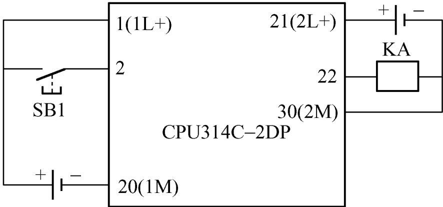


图 1-35 原理图

（2）方法 2

如图 1-37 所示。



图 1-36 梯形图

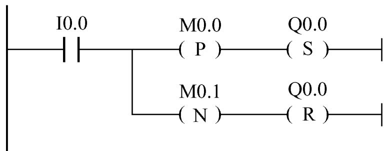


图 1-37 梯形图

【例 1-7】 设计两地控制电动机起停的梯形图和接线图。

【解】

（1）方法 1

最容易想到的原理图和梯形图如图 1-38 和图 1-39 所示。但这种解法只是正确的解法，不是最优方案，因为这种解法占用了较多的 I/O 点。

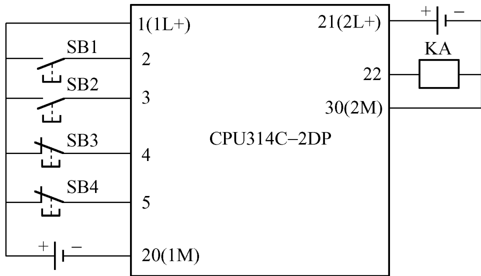


图 1-38 原理图

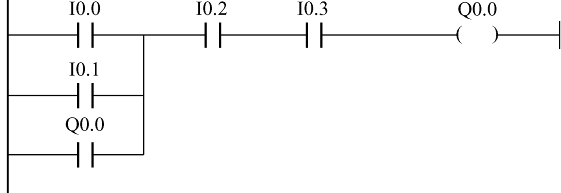


图 1-39 梯形图

（2）方法 2

如图 1-40 所示。

（3）方法 3

优化后方案的原图如图 1-41 所示，梯形图如图 1-42 所示。可见节省了 2 个输入点，

但功能完全相同。

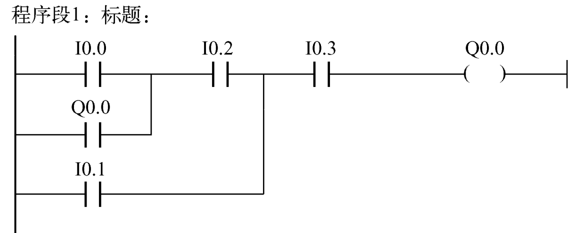


图 1-40　梯形图

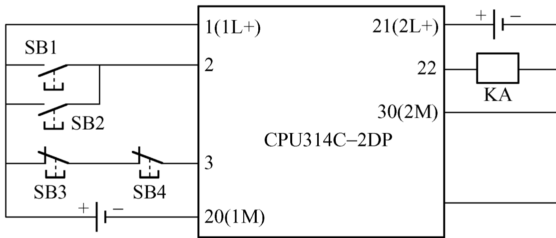


图 1-41　原理图

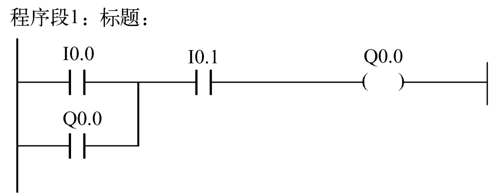


图 1-42　梯形图

【例 1-8】 编写电动机的起动优先的控制程序。

【解】

I0.0 是启动按钮接常开触点，I0.1 是停止按钮接常闭触点。启动优先于停止的程序如图 1-43 所示。优化后的程序如图 1-44 所示。

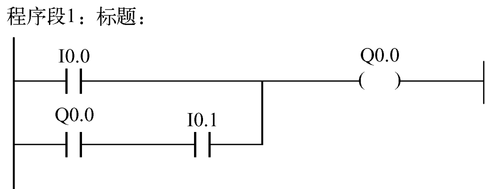


图 1-43　梯形图

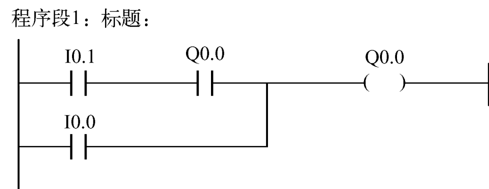


图 1-44　梯形图

【例 1-9】 编写程序，实现电动机的起/停控制和点动控制，请画出梯形图和接线图。

【解】 输入点：起动－I0.0，停止－I0.2，点动－I0.1；输出点：正转－Q0.0。

接线图如图 1-45 所示，梯形图如图 1-48 所示，这种编程方法在工程实践中较为常用。

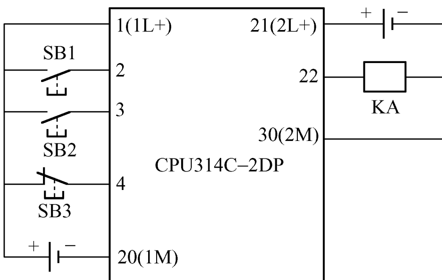


图 1-45　原理图

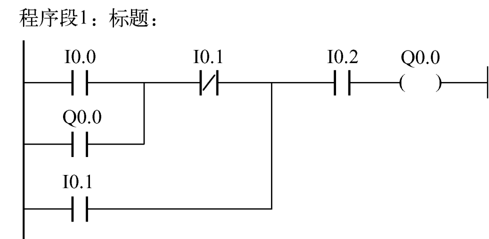


图 1-46　梯形图

以上程序还可以用如图 1-47 所示的梯形图程序替代。

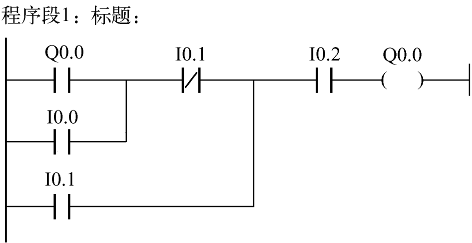


图 1-47　梯形图

【例 1-10】设计一段程序，起动时可自锁和立即停止；到停机时，要报警 1 s。

【解】

原理图如图 1-48 所示，梯形图如图 1-49 所示。

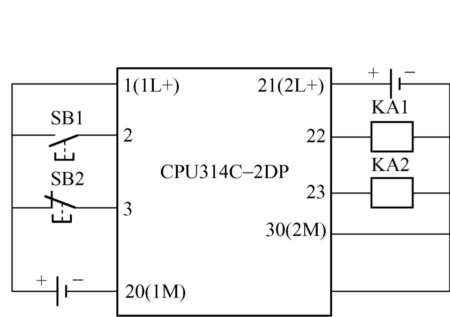


图 1-48　原理图

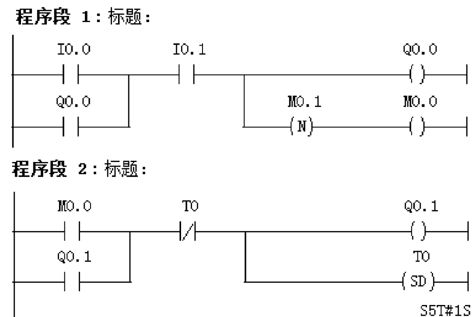


图 1-49　梯形图

【例 1-11】设计电动机的“正转－停－反转”的梯形图，其中 I0. 0 是正转按钮，I0. 1 是反转按钮，I0. 2 是停止按钮，Q0. 0 是正转输出，Q0. 1 是反转输出。

【解】

先设计 PLC 的 I/O 接线图，如图 1-50 所示。

借鉴继电器－接触器系统中的设计方法，不难设计“正转－停－反转”梯形图，如图 1-51 所示。常开触点 Q0. 0 和常开触点 Q0. 1 起自保（自锁）作用，而常闭触点 Q0. 0 和常闭触点 Q0. 1 起互锁作用。

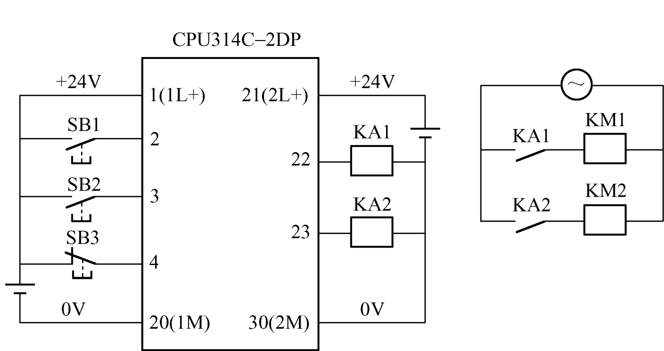


图 1-50　I/O 接线图

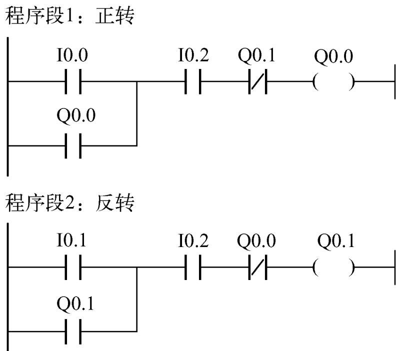


图 1-51　“正转－停－反转”梯形图

【例 1–12】有 3 台电动机，由 Q0. 1 ~ Q0. 3 的输出点控制，使用单按钮控制起/停。按钮接在 I0. 0 上。具体的控制方法是：按下按钮的次数对应启动电动机的号码，按第 4 次时所有的电动机停止，任何时候按下按钮持续 3s 时，电动机停止。

【解】梯形图如图 1–52 所示。

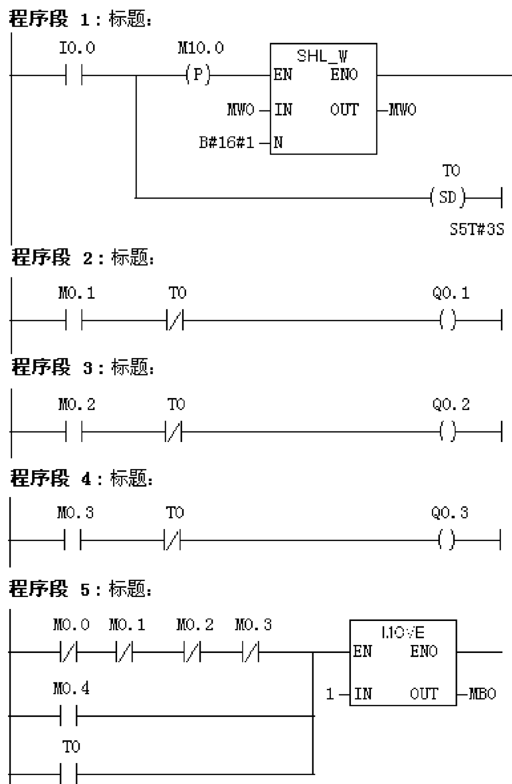


图 1–52　单按钮控制起/停程序

1. 3. 2　定时器和计数器应用

【例 1–13】编写一段程序，实现分脉冲功能。

【解】

解题思路：秒脉冲用“周期/时钟存储器”的 M0. 5 产生，其硬件组态如图 1–53所示。先用定时器产生秒脉冲，再用 30 个秒脉冲作为高电平，30 个脉冲作为低电平，梯形图如图 1–54 所示。

此题的另一种解法如图 1–55 所示，请读者思考图 1–55 所示梯形图的程序段 1 和程序段 2 的位置互换（即程序段 1 变为程序段 2）后，是否可行？为什么？

【例 1–14】某设备，有 4 条传送带，将前 3 条传送带上的工件汇集到第 4 条传送带上，前 3 条传送带上有 I0. 0、I0. 1 和 I0. 2 三个接近开关。前 3 条传送带中，先到达的工件，首先感应接近开关，激发对应的气缸动作，推动工件，前 3 条传送带对应的气缸输出为 Q0. 0、Q0. 1 和 Q0. 2，每次只能保证前 3 条传送带中的 1 条传送带上的工件送到第 4 条传送带上（竞争上岗），工件送到第 4 条传送带 1 s 后，才能传送下一个工件，复位为 I0. 3。请编写相关程序实现此功能。

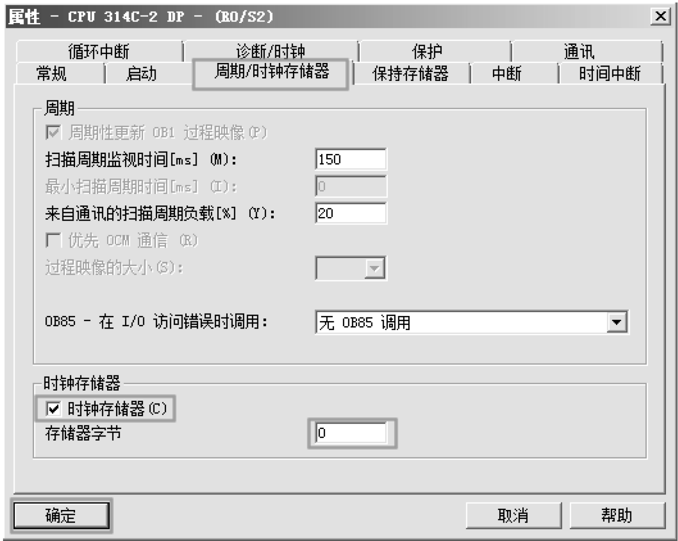
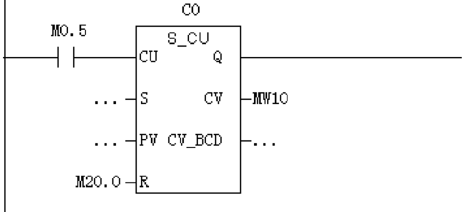
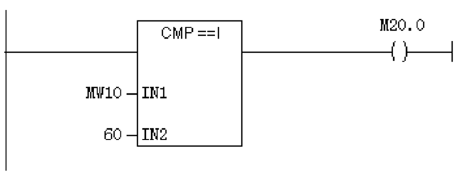


图 1-53　硬件组态

程序段 1：标题：



程序段 2：标题：



程序段 3：标题：

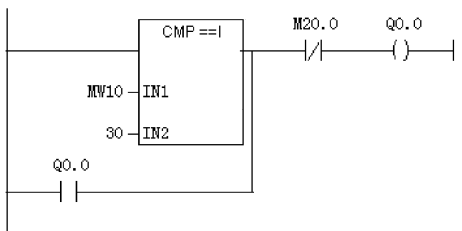
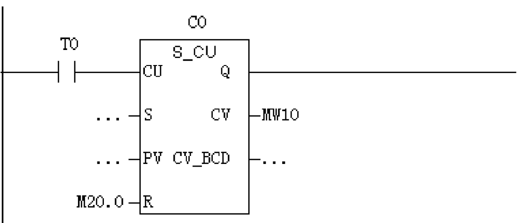
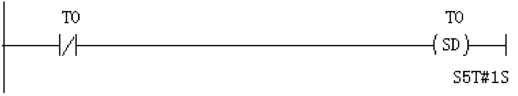


图 1-54　梯形图

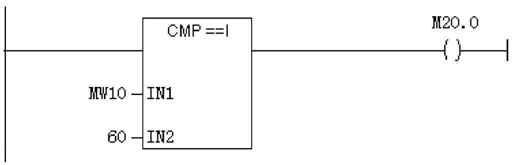
程序段 1：计数



程序段 2：产生秒脉冲



程序段 3：标题：



程序段 4：标题：

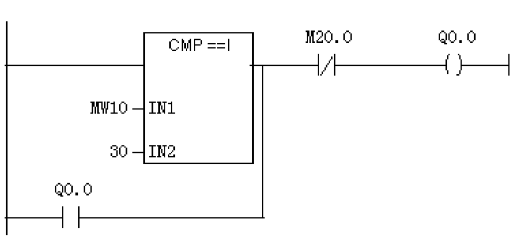


图 1-55　梯形图

【解】

梯形图程序如图 1–56 所示。

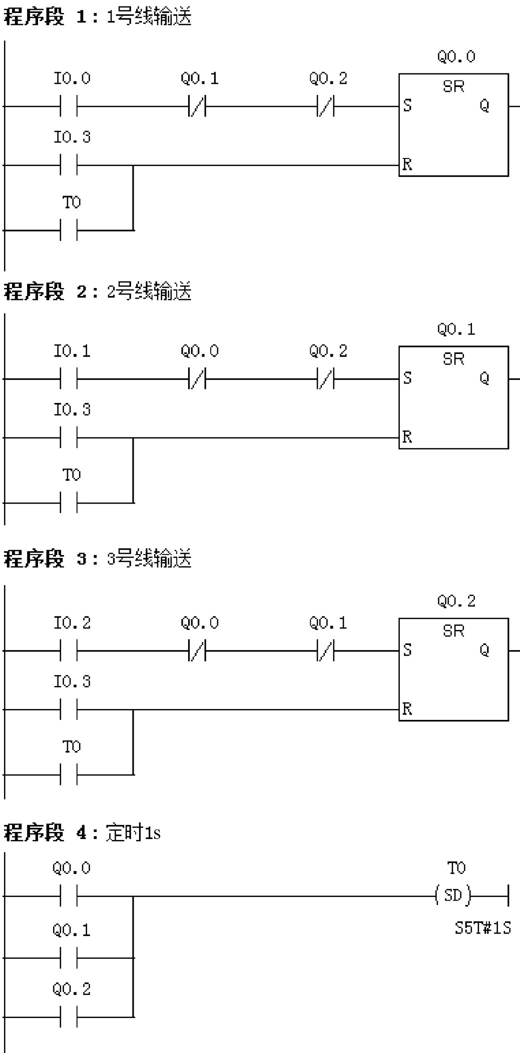


图 1–56 梯形图

【例 1–15】设计一段程序，延时时间为 100 h。

【解】

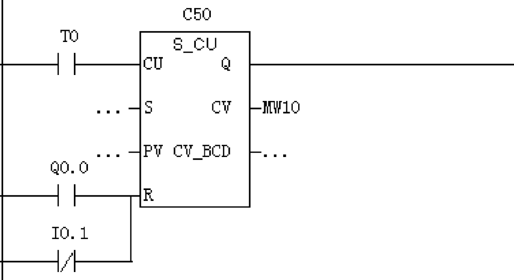
梯形图程序如图 1–57 所示。

请读者思考图 1–57 所示梯形图的程序段 1 和程序段 2 的顺序更改（即程序段 1 变为程序段 2）后，是否可行？为什么？

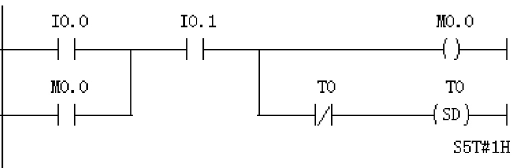
【例 1–16】鼓风机系统一般有引风机和鼓风机两级构成。当按下起动按钮后，引风机先工作，工作 5 s 后，鼓风机工作；按下停止按钮之后，鼓风机先停止工作，5 s 后，引风机才停止工作，请编写程序。

【解】

程序段 1：标题：



程序段 2：标题：



程序段 3：标题：

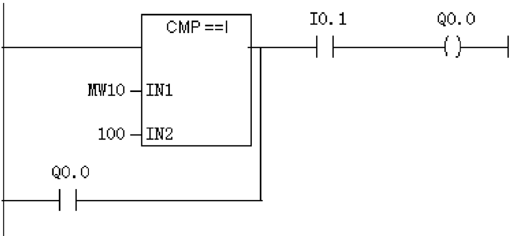


图 1-57　梯形图

1）PLC 的 I/O 分配见表 1-1。

表 1-1　PLC 的 I/O 分配表

输　入			输　出		
名　称	符　号	输 入 点	名　称	符　号	输 出 点
开始按钮	SB1	I0. 0	鼓风机	KA1	Q0. 0
停止按钮	SB2	I0. 1	引风机	KA2	Q0. 1

2）控制系统的接线。鼓风机控制系统的接线比较简单，如图 1-58 所示。

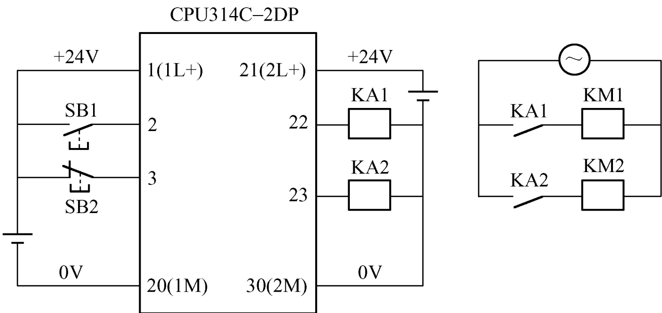


图 1-58　PLC 接线图

3）编写程序。引风机在按下停止按钮后还要运行 5 s，容易想到要使用 SF 定时器；鼓风机在引风机工作 5 s 后才开始工作，因而容易想到用 SD 定时器，不难设计梯形图，如图 1-59 所示。

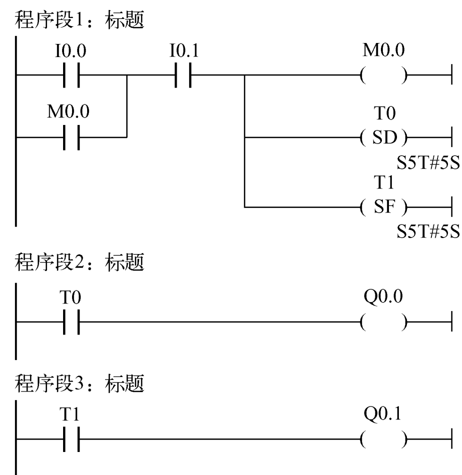


图 1-59　鼓风机控制梯形图

1.3.3　取代特殊功能的小程序

【例 1-17】 CPU 上电运行后，对 M0.0 置位，并一直保持为 1，请设计梯形图。

【解】

S7-300/400 无上电运行后一直闭合特殊寄存器，设计梯形图如图 1-60 所示。

【关键点】 在 S7-200 中，此程序的功能可取代 SM0.0。

【例 1-18】 CPU 上电运行后，对 MB0 ~ MB3 清零复位，请设计梯形图。

【解】

S7-300/400 无上电闭合一个扫描周期特殊寄存器，有 2 个方法解决此问题，方法 1 如图 1-61 所示。另一种解法要用到 OB100。

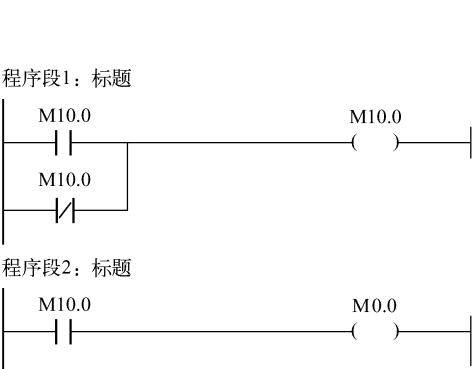


图 1-60　梯形图

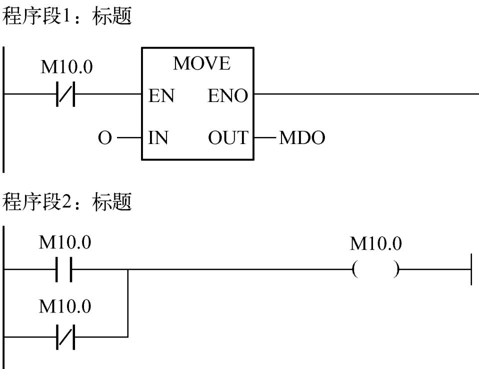


图 1-61　梯形图

【关键点】 在 S7-200 中，此程序的功能可取代 SM0.1。

1.3.4 单键起停控制（乒乓控制）

【例 1-19】设计一个单键起停控制（乒乓控制）的程序，实现用一个单按钮控制一盏灯的亮和灭，即按奇数次按钮灯亮，按偶数次按钮灯灭。

【解】

方法 1：

设计接线图如图 1-62 所示。

梯形图如图 1-63 所示，可见使用 SR 双稳态触发器指令后，不需要用自锁，程序变得更加简洁。当第一次按下按钮时，Q0.0 线圈得电（灯亮），Q0.0 常开触点闭合，当第二次按下按钮时，S 和 R 端子同时高电平，由于复位优先，所以 Q0.0 线圈断电（灯灭）。

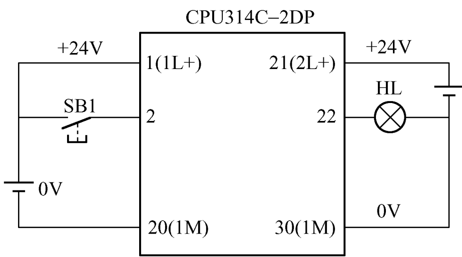


图 1-62　I/O 接线图

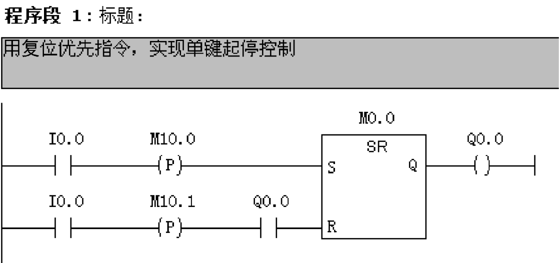


图 1-63　梯形图

方法 2：

此题目的第 2 种解法是用 RS 指令，梯形图如图 1-64 所示。当第一次按下按钮时，Q0.0 线圈得电（灯亮），Q0.0 常闭触点断开，当第二次按下按钮时，R 端子高电平，所以 Q0.0 线圈断电（灯灭）。

方法 3：

这个电路是微分电路，但没用到上升沿指令。梯形图如图 1-65 所示。

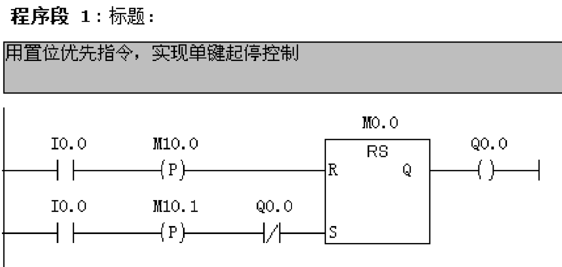


图 1-64　梯形图

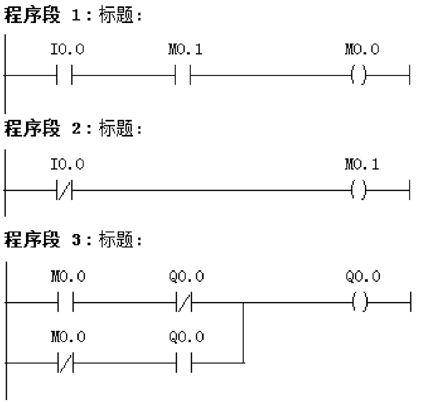


图 1-65　梯形图

方法 4：

当 I0.0 第一次合上时，M0.0 接通一个扫描周期，使 Q0.0 线圈得电一个扫描周期，当下一次扫描周期到达，Q0.0 常开触点闭合自锁，灯亮。

当 I0.0 第二次合上时，M0.0 接通一个扫描周期，使 Q0.0 线圈闭合一个扫描周期，切断 Q0.0 的常开触点和 M0.0 的常开触点，使得灯灭。梯形图如图 1-66 所示。

方法 5：

当 I0.0 第一次合上时，M0.0 接通一个扫描周期，使 Q0.0 线圈得电一个扫描周期，当下一次扫描周期到达，Q0.0 常开触点闭合自锁，灯亮。

当 I0.0 第二次合上时，M0.0 接通一个扫描周期，C0 计数为 2，Q0.0 线圈断电，使得灯灭，同时计数器复位。梯形图如图 1-67 所示。

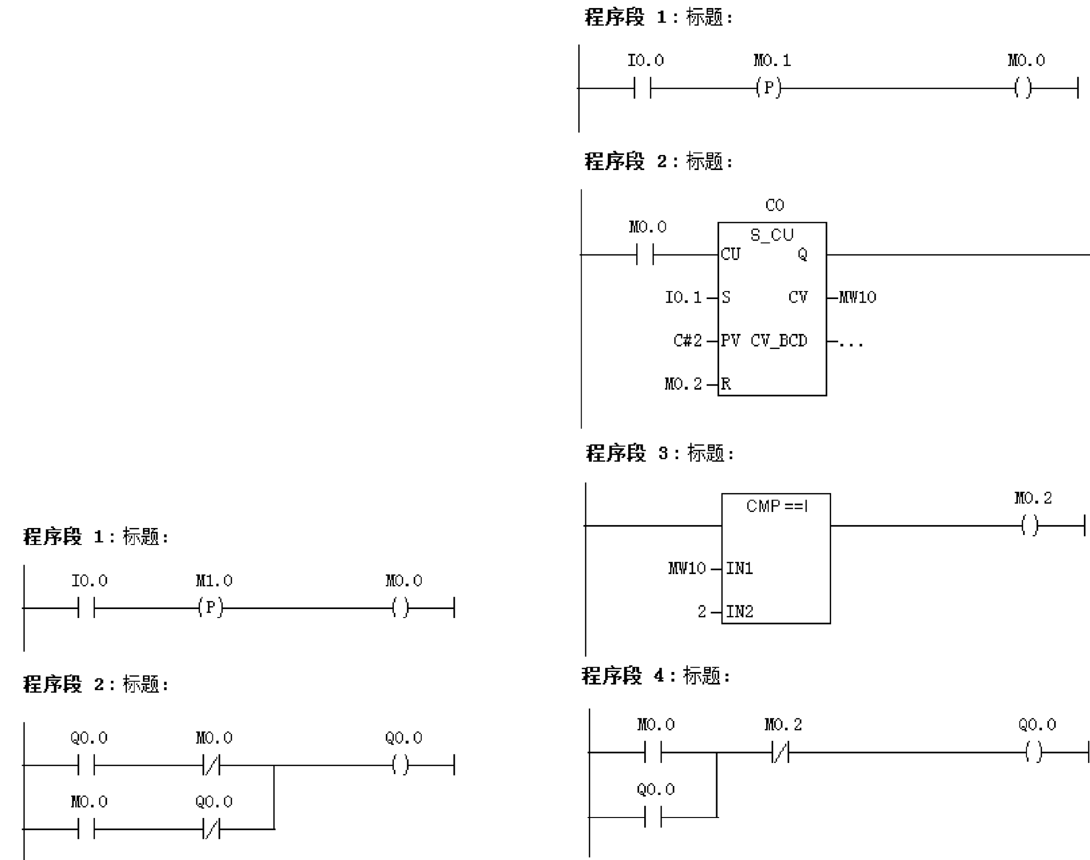


图 1-66　梯形图

图 1-67　梯形图

1.4　仿真软件的应用

仿真软件可以在计算机或者编程设备（如 Power PG）中模拟 PLC 运行和测试程序，就像运行在真实的硬件上一样。西门子公司为 S7-300/400 PLC 设计了仿真软件 PLCSIM，但遗憾的是没有为 S7-200 PLC 设计仿真软件。下面将介绍应用较广泛的仿真软件 S7-200 SIM 2.0。

1.4.1　S7-200 PLC 的仿真软件的使用

S7-200 SIM 2.0 仿真软件的界面友好，使用非常简单，下面以如图 1-68 所示程序的仿

真为例，介绍 S7-200 SIM 2.0 的使用。

【例 1-20】将如图 1-68 所示的程序用 S7-PLCSIM 进行仿真。

① 在 Micro/WIN 软件中编译如图 1-68 所示的程序，再单击菜单栏中的"文件"→"导出"命令，并将导出的文件保存，文件的扩展名为默认的".awl"（文件的全名保存为 123.awl）。

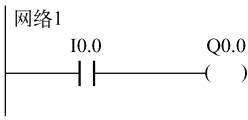


图 1-68　示例程序

② 打开 S7-200 SIM 2.0 软件，单击菜单栏中的"配置"→"CPU 型号"命令，弹出"CPU Type"（CPU 型号）对话框，选定所需的 CPU，如图 1-69 所示，再单击"Accept"（确定）按钮即可。

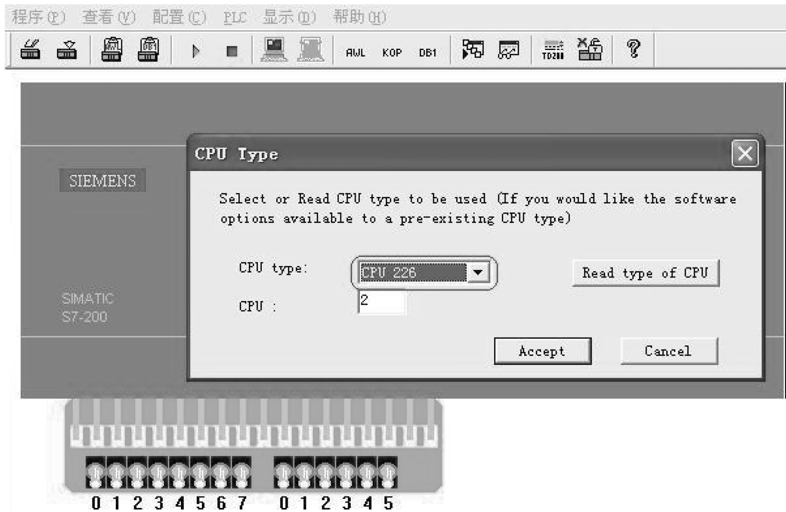


图 1-69　CPU 型号设定

③ 装载程序。单击菜单栏中的"程序"→"装载程序"命令，弹出"装载程序"对话框，设置如图 1-70 所示，再单击"确定"按钮，弹出"打开"对话框，如图 1-71 所示，选中要装载的程序"123.awl"，最后单击"打开"按钮即可。此时程序已装载完成。



图 1-70　装载程序

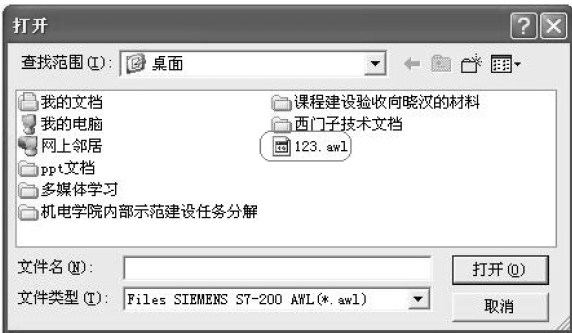


图 1-71　打开文件

④ 开始仿真。单击工具栏上的"运行"按钮▶，运行指示灯亮，如图 1-72 所示，单击按钮"I0.0"，按钮向上合上，PLC 的输入点"I0.0"有输入，输入指示灯亮，同时输出点"Q0.0"输出，输出指示灯亮。

与 PLC 相比，S7-200 SIM 2.0 软件仿真软件有省钱、方便等优势，但仿真软件毕竟不是真正的 PLC，它只具备 PLC 的部分功能，不能实现完全仿真。

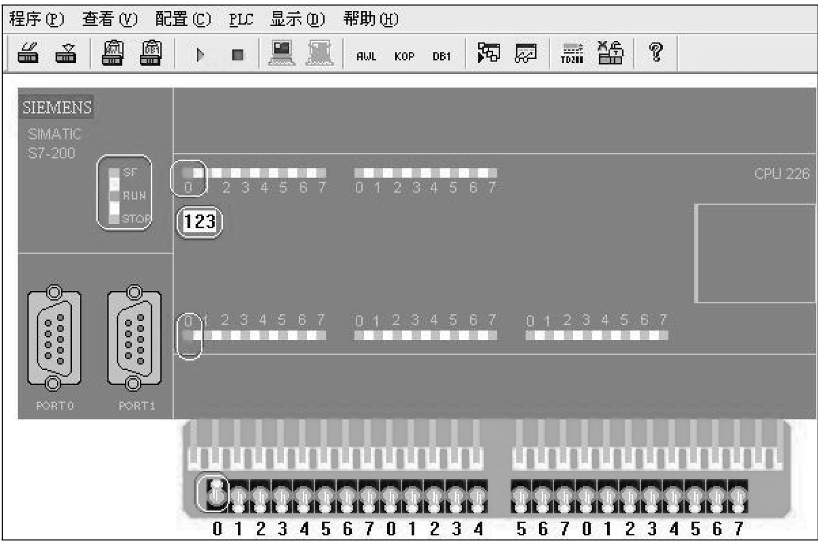


图 1-72　进行仿真

1.4.2　S7-300/400 PLC 的仿真软件的使用

1. S7-PLCSIM 简介

西门子为 S7-300/400 PLC 设计了一款可选仿真软件包 PLC Simulation（本书简称 S7-PLCSIM），此仿真软件包可以在计算机或者编程设备中模拟可编程控制器运行和测试程序，它不能脱离 STEP7 独立运行。如果 STEP7 中已经安装仿真软件包，工具栏中的“仿真开关”按钮是亮色的，否则是灰色的，只有“仿真开关”按钮是亮色才可以用于仿真。

S7-PLCSIM 提供了简单的用户界面，用于监视和修改在程序中使用各种参数（如开关量输入和开关量输出）。当程序由 S7-PLCSIM 处理时，也可以在 STEP7 软件中使用各种软件功能，如使用变量表监视、修改变量和断点测试功能。

2. S7-PLCSIM 应用

S7-PLCSIM 仿真软件使用比较简单，以下用一个简单的例子介绍其使用方法。

【例 1-21】将如图 1-73 所示的程序用 S7-PLCSIM 进行仿真。

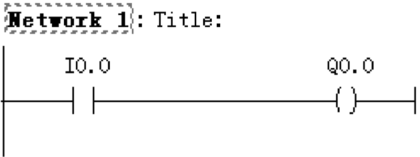


图 1-73　用于仿真的程序

【解】具体步骤如下：

1）先新建一个工程，并进行硬件组态，在组织块 OB1 中输入如图 1-73 所示的程序，保存工程。

2）开启仿真。在管理界面中单击工具栏上的“仿真开关” ，如图 1-74 所示。

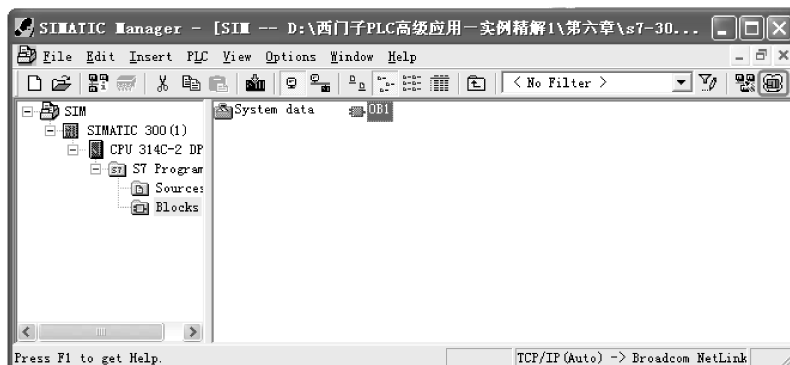


图 1-74　开启仿真

3）下载程序。先选定“SIMATIC 300（1）”，再单击工具栏的“下载”按钮，将硬件组态和程序下载到仿真器中，如图 1-75 所示。



图 1-75　下载程序

4）进行仿真。先选择“RUN”，也就是将仿真器置于运行状态，再将 I0.0 划上“√”，也就是将 I0.0 置于“ON”，这时，Q0.0 也显示为“ON”；当去掉 I0.0 上的“√”，也就是将 I0.0 置于“OFF”，这时 Q0.0 上的“√”消失，即显示为“OFF”，如图 1-76 所示。

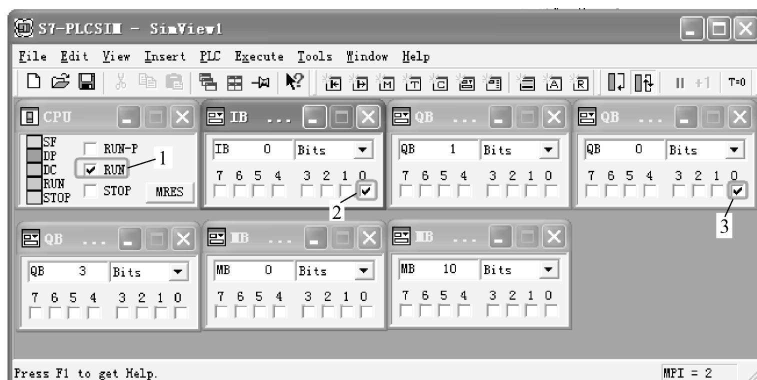


图 1-76　进行仿真

5）监视运行。打开程序编辑器，在工具栏中单击“监视”按钮，可以看到：若仿真器上的 I0.0 和 Q0.0 都是“ON”，则程序编辑器界面上的 I0.0 和 Q0.0 也都是“ON”，如图 1-77 所示。这个简单例子的仿真效果与下载程序到 PLC 中的效果基本相同，相比之下前者实施要容易得多。

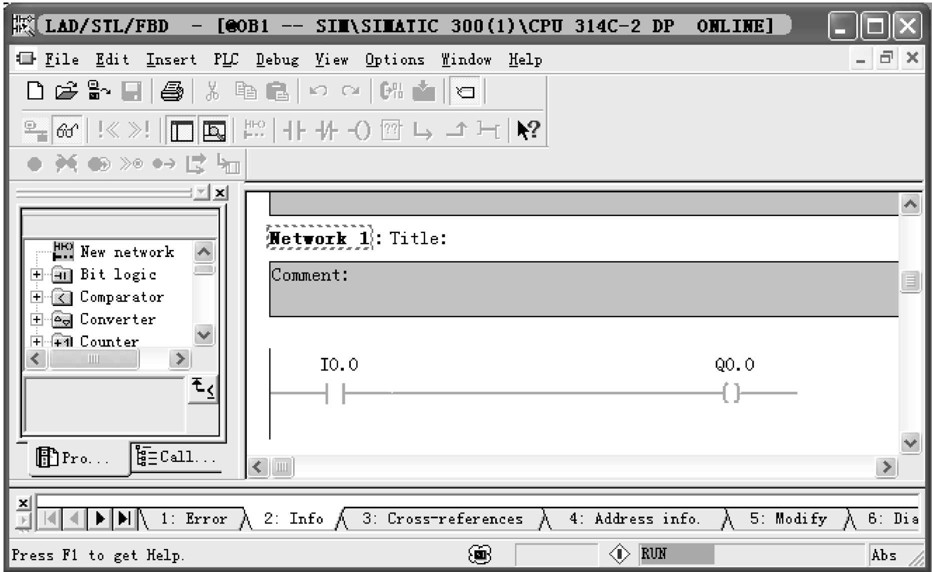


图 1-77　监视运行

3. S7-PLCSIM 与真实 PLC 的差别

S7-PLCSIM 提供了方便、强大的仿真模拟功能，与真实的 PLC 相比，它的灵活性高，并提供了许多 PLC 硬件无法实现的功能，使用也更加方便。但是仿真软件毕竟无法完全取代真实的硬件，不可能实现完全仿真。用户利用 S7-PLCSIM 进行仿真时，还应该了解它与真实 PLC 的差别。

S7-PLCSIM 有如下功能在真实 PLC 上无法实现。

1）仿真的 CPU 正在运行时可以用“Stop”选项中断程序，恢复“运行”时是从程序中断处开始继续处理程序。

2）与真实的 CPU 一样，仿真软件可以改变 CPU 的操作模式（RUN、RUN-P 和 STOP）。但与实际 CPU 不同的是仿真的 CPU 切换到 STOP 模式并不会改变输出的状态。

3）仿真软件在目标视图中变量的每个改变，其存储区对应相关地址的内容会被同时更新。CPU 并不是等到循环周期结束或开始时才更新改变的数据。

4）使用关于程序处理的选项可以指定 CPU 如何执行程序：

- 选择“By cycles”程序执行一个周期后等待命令再执行下一个循环周期。
- 选择“Automatic”程序的处理同实际自控系统一样，即一旦一个循环周期结束马上执行下一个周期。

5）仿真定时器可以使用自动或手动方式处理，自动方式按照程序执行结果；手动方式可以给定特殊值或复位定时器。复位定时器可以复位单独的定时器或一次复位所有定时器。

6）可以手动触发诊断中断 OB：OB40 ~ OB47（过程中断）、OB70（I/O 冗余错误）、OB72（CPU 冗余错误）、OB73（通信冗余错误）、OB80（时间错误）、OB82（诊断警告）、OB83（插拔模块警告）、OB85（程序执行错误）和 OB86（机架故障）。

7）过程映像区和 I/O 区：如果改变一个输入映像区的值，S7-PLCSIM 立即将此值复制到输入外设区。这就意味着从输入外设区写到输入过程映像区所需要的值在下一个循环周期开始时不会丢失。同样如果改变了输出映像区的一个值，此值立即被复制到输出外设区。

S7-PLCSIM 与“实际”的自动化系统还有以下不同：

1）诊断缓冲区：S7-PLCSIM 不能支持所有写入诊断缓冲区的错误消息。例如，关于 CPU 中的电池电量不足的消息或者 EEPROM 错误是不能仿真的。但大部分 I/O 和程序错误都是可以仿真的。

2）在改变操作模式时（比如从 RUN 切换到 STOP）输入输出没有“安全”状态。

3）不支持功能模块（FM）。

4）不支持点对点通信（例如同一机架上的两个 S7-400 CPU 之间）。

5）S7-PLCSIM 与 S7-400 CPU 一样支持 4 个累加器。在某些情况下 S7-PLCSIM 上运行的程序与真实的只有 2 个累加器的 S7-300 CPU 上的运行结果不同。

6）输入/输出的不同。大多数 S7-300 产品系列的 CPU 可以自动配置输入/输出设备：如果将模块连接到控制器，CPU 即自动识别此模块。对于仿真的自动化系统，这种自识别是不能模拟的。如果将一个自动组态了 I/O 的 S7-300 CPU 程序装载到 S7-PLCSIM 中，系统数据中将不包含任何 I/O 组态。因此，如果使用 S7-PLCSIM 来仿真 S7-300 的程序，为了 CPU 能识别所使用的模块，必须首先装载硬件组态。在 S7-PLCSIM 中，S7-300 CPU 不能自动识别 I/O，例如 CPU315-2DP、CPU316-2DP 或 CPU318-2DP 等 CPU，为了能将硬件组态装载到 S7-PLCSIM，需要创建一个项目。复制相应的硬件组态到这个项目并装载到 S7-PLCSIM，然后从任意 S7 项目装载程序块，I/O 处理都不会有错误。

1.5 S7-300/400 PLC 调试方法

STEP7 提供了可视化的在线调试功能。在 STEP7 中完成的硬件组态和用户程序必须下载到 PLC 中，经过软硬件的联合调试成功后，才能最终完成控制任务。

1.5.1 用变量监控表进行调试

1. 变量表的功能

变量表和 PLC 建立在线联系后，可以将硬件组态和程序下载到 PLC 中。用户可以通过 STEP7 进行在线调试程序，寻找并发现程序设计中的问题。变量表可以显示用户感兴趣的变量，用于监视和修改变量值。变量表有如下功能：

1）监视变量。可以在编程设备上显示用户程序或 CPU 中每个变量值的当前值。

2）修改变量。可以将固定值赋给用户程序或 CPU 中的每个变量，使用程序状态测试时进行一次数值修改。

3）使用外部设备输出并激活修改值，允许在停机状态下将固定值赋给 CPU 的 I/O。

4）强制变量。可以为用户程序或 CPU 中的每个变量赋予一个固定值，这个值是不能被用户程序覆盖的。

用户可以显示或者赋值的变量包括：输入、输出、位存储、定时器、计数器、数据块的内容和 I/O。

2. 建立变量表

在管理器界面中，如图 1-78 所示。先选中“块”，再单击菜单栏中的“插入”→“S7 块”→“变量表”，弹出“属性 - 变量”界面，如图 1-79 所示，默认变量表为“VAT_1”，单击“确定”按钮便可生成变量表。



图 1-78 建立变量表



图 1-79 “属性 - 变量表”界面

回到管理器界面，双击“VAT_1”，弹出变量表界面，此时的变量表是空白的，并没有变量，如图 1-80 所示。

3. 利用变量表调试程序

（1）输入变量

每个变量表中有 5 个栏，分别显示变量的 5 个属性：地址、符号、显示格式、状态值和修改值。一个变量表最多有 1024 行，每行最多可有 255 个字符。

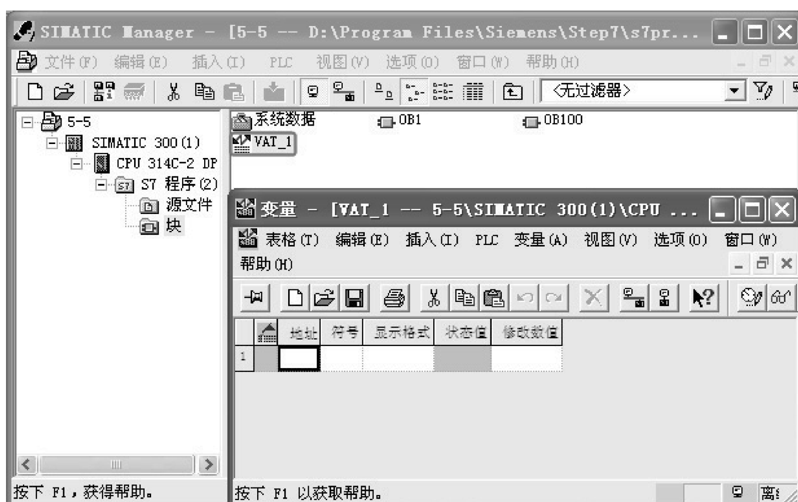


图 1-80　打开变量表

用户可以通过在“符号”栏输入符号或在“地址”栏输入地址来插入变量，如果在符号表中已经定义地址相应的符号，则符号栏或者地址会自动输入，如图 1-81 所示。



图 1-81　输入变量

（2）监视和修改变量

假设要调试的程序如图 1-82 所示，将整个工程下载到 CPU 中，注意变量表是不能下载到 CPU 中去的。

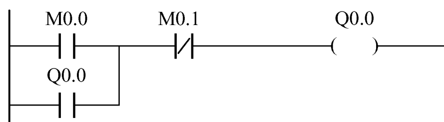


图 1-82　程序

1）变量表与 CPU 的连接。先建立变量表与 CPU 的连接，共有三种方法。单击菜单“PLC”→“连接到”，来定义与 CPU 的连接。子菜单有 3 个选项，如图 1-83 所示，第一个是组态的 CPU，其作用与单击工具栏中的按钮作用相同，用于建立被激活的变量表与 CPU 的连接；第二个是直接连接 CPU，其作用与单击工具栏中的按钮作用相同，用于直接连接 CPU（与编程设备用编程电缆连接的 CPU）之间的在线连接；第三个是可访问的 CPU，在打开的对话框中，用户可以选择与哪个 CPU 建立连接。

使用菜单命令“PLC”→“断开连接”，可以断开变量表与 CPU 的连接。

2）变量表的监视。单击工具栏中的“监视变量”按钮，或者使用菜单中的“变量”→“监视”，便可监视程序中变量的情况，如图 1-84 所示，3 个变量的状态都有显示。

3）变量表的修改。当变量表处于监视状态时，在参数“M0.0”的“修改数值”栏中输入“true”(1 也可以)，再单击“修改变量”按钮，可以看到参数“M0.0”为“true”，由于程序运行，使得参数“Q0.0”也为“true”。当然也可以使用菜单中的“变量”→“修改”，来修改参数的数值。

【关键点】在仿真器中“修改变量”时，仿真器必须置于“RUN－P”模式下，而真实的 S7-300/400（2002 年后生产的新型号）无“RUN－P”模式。仿真器监视参数时，置于“RUN”或者“RUN－P”模式模式均可。

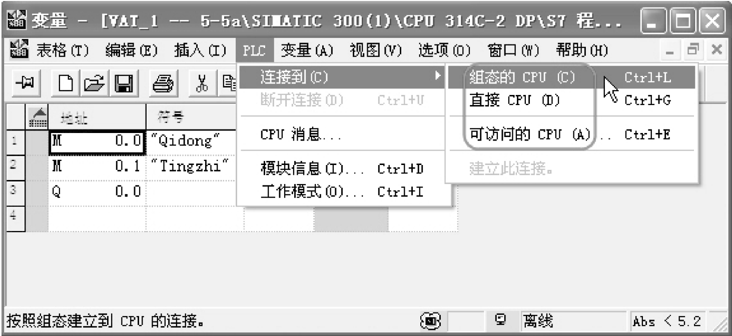


图 1-83　变量表与 CPU 的连接



图 1-84　变量表的监视和修改

（3）强制变量

强制变量可以给用户一个固定值，它独立于程序运行，不会被执行的用户程序改变或者覆盖。强制的优点在于可以在不改变程序代码，也不改变硬件连线的情况下，强行改变输入和输出状态。

强制变量的方法是：先选中强制变量中将要修改的数值，再使用菜单中的“变量”→“强制”即可。停止强制的方法是：使用菜单中的“变量”→“停止强制”。

【关键点】

1）利用“修改变量”功能可以同时输入几个数据。“修改变量”的作用类似于“强制”的作用。但两者是有区别的。

2）强制功能的优先级别要高于“修改变量”，“修改变量”的数据可能改变参数状态，但当与逻辑运算的结果抵触时，写入的数值也可能不起作用。

3）修改变量不能改变输入继电器（如 I0.0）的状态，而强制可以改变。

4）仿真器中可以模拟“修改变量”，但不能模拟“强制”功能，强制功能只能在真实的 S7-300/400 中实现。

5）PLC 处于强制状态时，“FRCE”灯为黄色，正常运行状态时，不应使 PLC 处于强制状态，强制功能仅用于调试。

【例 1-22】 如图 1-85 所示的梯形图，Q0.0 状态为 1，问在“状态表”中，分别用“修改变量”、“强制”功能，是否能将 Q0.0 的数值变成 0？

【解】

用“修改变量”功能不能将 Q0.0 的数值变成 0，因为图 1-85 所示梯形图的逻辑运算的结果造成 Q0.0 为 1，与“修改”结果抵触，最后输出结果以逻辑运算的结果为准。



图 1-85　梯形图

用“强制”功能将 Q0.0 的数值变成 0，因为强制的作用高于逻辑运算的作用。

1.5.2　使用交叉参考和符号表的导入/输出

1. 交叉参考

交叉参考能显示程序中元件使用的详细信息。交叉参考对查找程序中数据地址的使用十分有用。在程序编辑器中，单击菜单栏中的“选项”→“参考数据”→“显示”，如图 1-86 所示，选择图 1-87 中的“交叉参考”选项，单击“确定”按钮，弹出“交叉参考”界面，如图 1-88 所示，所有参数和内部继电器的具体位置都列在表格中（在哪个块的哪个程序段），便于编程者搜索参数的具体位置。

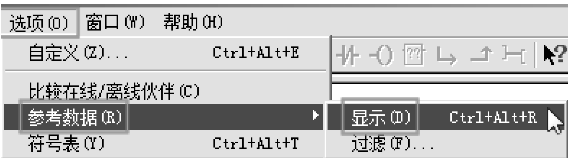


图 1-86　打开交叉参考（1）

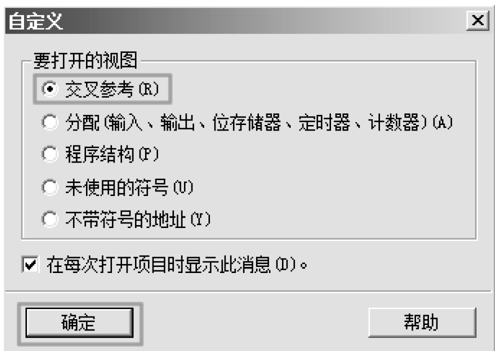


图 1-87　打开交叉参考（2）

单击工具栏中的“输入/输出、位存储器、定时器和计数器的赋值”▦按钮，弹出如图 1-89 所示的界面，从图中可以看出，程序中 Q0.0、Q0.7 和 QB0 都用到了，而 QB0 包含 Q0.0、Q0.7，所以在编写完成程序后，在交叉参考看到这种现象，一定要分析，QB0 与 Q0.0、Q0.7 是否冲突，这个功能十分有用。



图 1-88　交叉参考（1）



图 1-89　交叉参考（2）

2. 符号表的输出

对于一个较大的项目，一定要用到“符号寻址”，这样必然要用到符号表，打开符号编辑器，如图 1-90 所示。单击符号编辑器菜单栏“符号表”→“输出”，输入如图 1-91 所示的文件名，单击“确定”按钮即可。注意，这个保存的文件是 ASCII 码格式，可以用 Excel 打开，如图 1-92 所示。



图 1-90　符号表



图 1-91　输出文件

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	126,COMPL	RESTART	OB	100	OB	100	Complete	Restart	
2	126,Start		I	0	BOOL		启动		
3	126,Stop		I	0.1	BOOL		停止		
4	126,Motor		Q	0	BOOL		电动机		
5									
6									

图 1-92　用 Excel 打开

3. 符号表的导入

在符号编辑器中，单击符号编辑器菜单栏“符号表”→“导入”，选中以前导的以前输出的文件“1. ASC”，则可以将“1. ASC”导入到参数表。

1.6　综合应用

以下再举 2 个例子说明逻辑控制编程的综合应用。读者如果能正确完成以下 2 个例子，那么说明读者基本掌握了逻辑控制程序的编写方法。

【例 1-23】液体混合装置示意图如图 1-93 所示，上限位、下限位和中限位液位传感器被液体淹没时为 1 状态，电磁阀 A、B、C 的线圈通电时，阀门打开，电磁阀 A、B、C 的线圈断电时，阀门关闭。在初始状态时容器是空的，各阀门均关闭，各传感器均为 0 状态。按下启动按钮后，打开电磁阀 A，液体 A 流入容器，中限位开关变为 ON 时，关闭 A，打开电磁阀 B，液体 B 流入容器。液面上升到上限位开关，关闭阀门 B，电动机 M 开始运行，搅拌液体，30 s 后停止搅动，打开电磁阀 C，放出混合液体，当液面下降到下限位开关之后，过 3 s，容器放空，关闭电磁阀 C，打开电磁阀 A，又开始下一个周期的操作。当前工作周期结束后，按停止按钮，才能停止工作；按急停按钮可立即停止工作。请绘制功能图，设计梯形图。

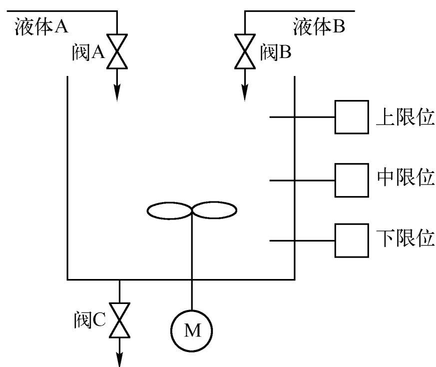


图 1-93　液体混合装置

【解】

液体混合的 PLC 的 I/O 分配见表 1-2。

表 1-2　PLC 的 I/O 分配表

输　　入			输　　出		
名　　称	符　　号	输　入　点	名　　称	符　　号	输　出　点
开始按钮	SB1	I0. 0	电磁阀 A	YA1	Q0. 0
停止按钮	SB2	I0. 1	电磁阀 B	YA2	Q0. 1
急停	SB3	I0. 2	电磁阀 C	YA3	Q0. 2
上限位传感器	SQ1	I0. 3	继电器	KA1	Q0. 3
中限位传感器	SQ2	I0. 4			
下限位传感器	SQ3	I0. 5			

电气系统原理图如图 1-94 所示，功能图如图 1-95 所示，梯形图如图 1-96 所示。

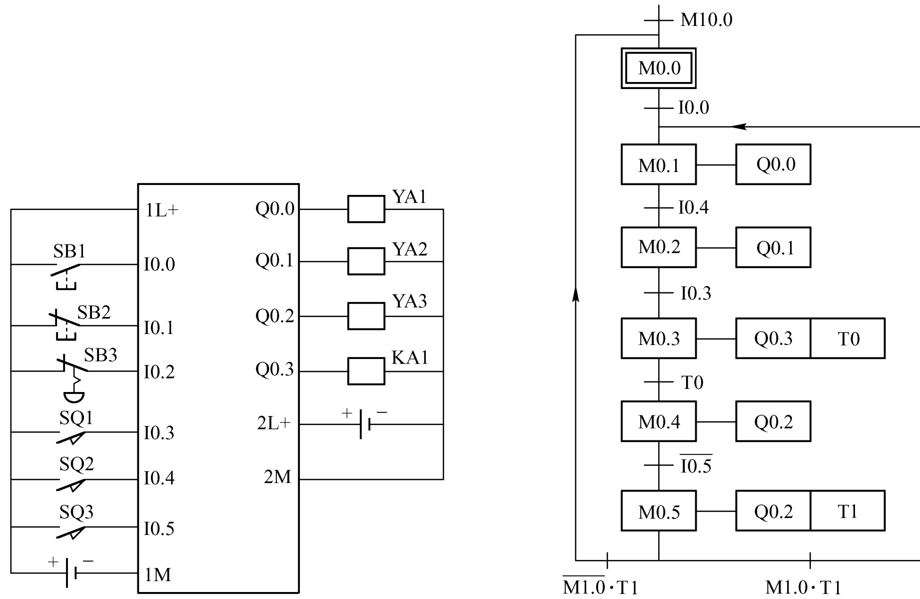


图 1-94　原理图

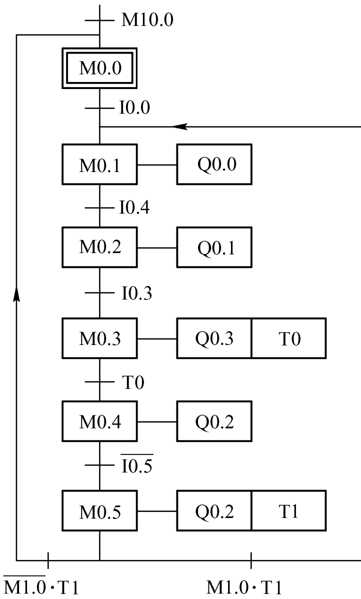


图 1-95　功能图

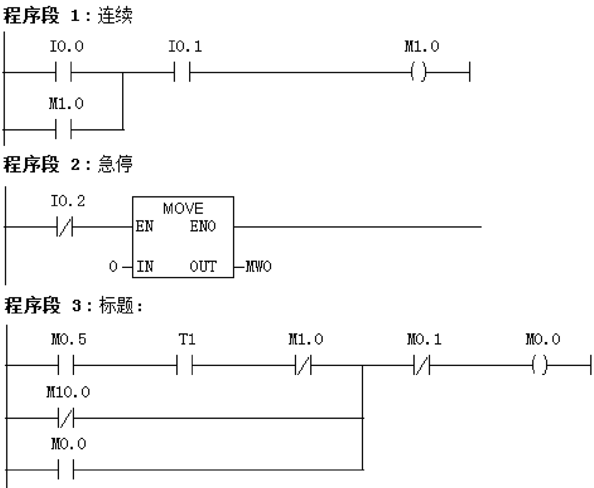
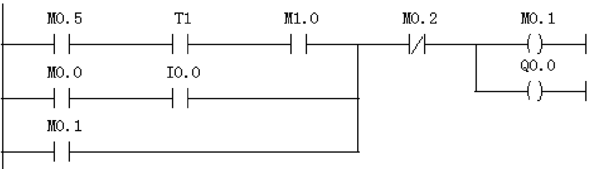
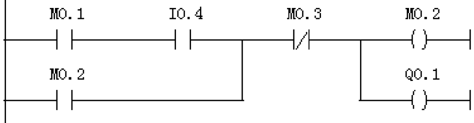


图 1-96　梯形图

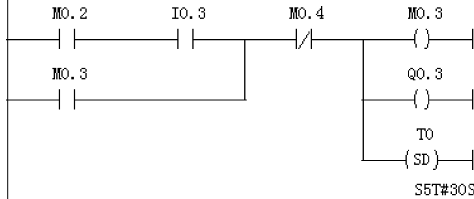
程序段 4：标题：



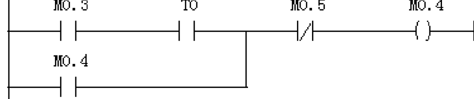
程序段 5：标题：



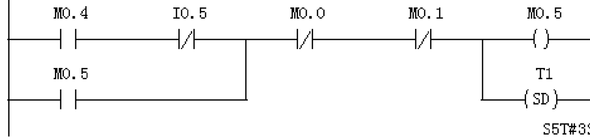
程序段 6：标题：



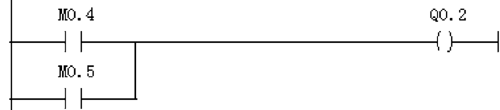
程序段 7：标题：



程序段 8：标题：



程序段 9：标题：



程序段 10：标题：



图 1-96　梯形图（续）

【例 1-24】 某钻床用 2 个钻头同时钻 2 个孔。开始自动运行之前，2 个钻头在最上面，上限位开关 I0.3 和 I0.5 为 ON。操作人员放好工件后，按起动按钮 I0.0。工件被夹紧后，2 个钻头同时开始工作，钻到由限位开关 I0.2 和 I0.4 设定的深度时分别上行，回到由限位开关 I0.3 和 I0.5 设定的起始位置时，分别停止上行。当 2 个钻头都回到起始位置后，工件松开，工件松开后，加工结束，系统回到初始状态。钻床的加工示意图如图 1-97 所示，请设计功能图和梯形图。

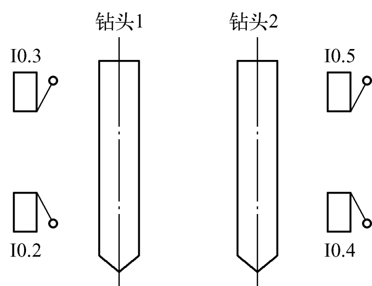


图 1-97　钻床加工示意图

【解】

钻床的 PLC 的 I/O 分配见表 1-3。

表 1-3　PLC 的 I/O 分配表

输　入			输　出		
名　称	符　号	输 入 点	名　称	符　号	输 入 点
开始按钮	SB1	I0. 0	夹具夹紧	KA1	Q0. 0
停止按钮	SB2	I0. 1	钻头 1 下降	KA2	Q0. 1
钻头 1 上限位开关	SQ1	I0. 2	钻头 1 上升	KA3	Q0. 2
钻头 1 下限位开关	SQ2	I0. 3	钻头 2 下降	KA4	Q0. 3
钻头 2 上限位开关	SQ3	I0. 4	钻头 2 上升	KA5	Q0. 4
钻头 2 下限位开关	SQ4	I0. 5	夹具松开	KA6	Q0. 5
夹紧限位开关	SQ5	I0. 6			
松开下限位开关	SQ6	I0. 7			

电气系统原理图如图 1-98 所示，功能图如图 1-99 所示，梯形图如图 1-100 所示。

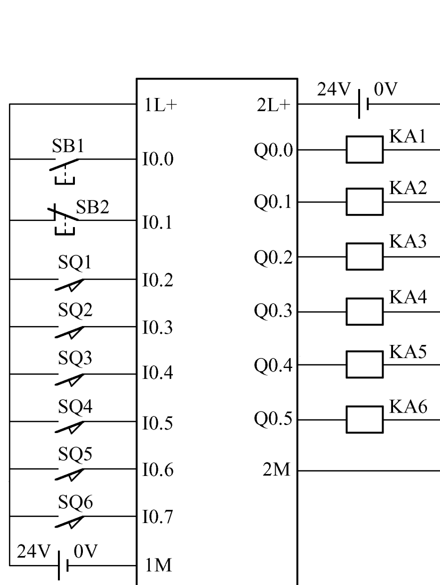


图 1-98　原理图

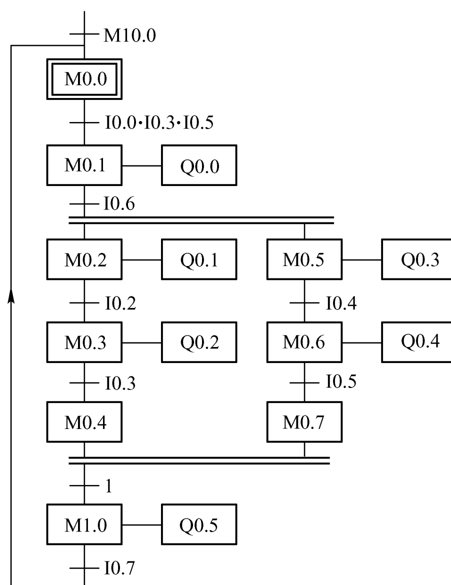
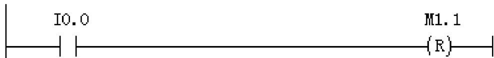


图 1-99　功能图

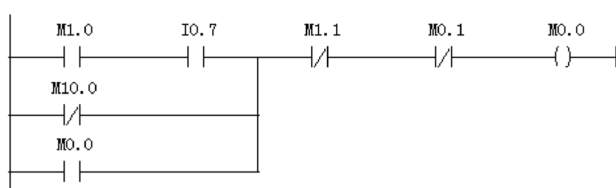
程序段 1：起动



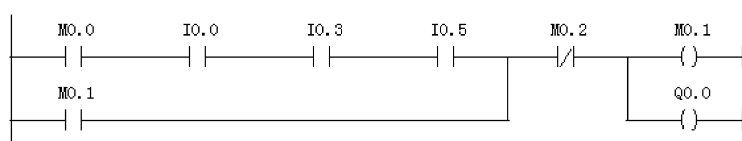
程序段 2：停止



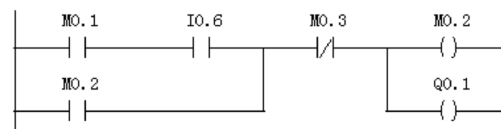
程序段 3：标题：



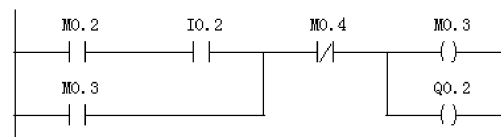
程序段 4：标题：



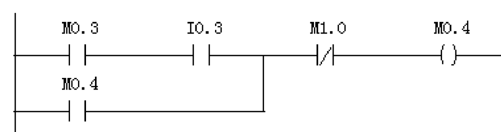
程序段 5：标题：



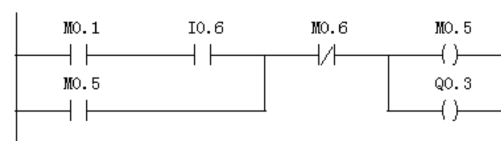
程序段 6：标题：



程序段 7：标题：



程序段 8：标题：



程序段 9：标题：

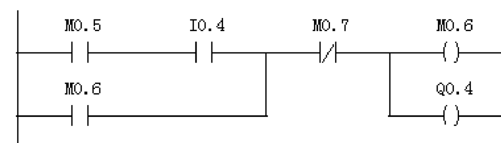
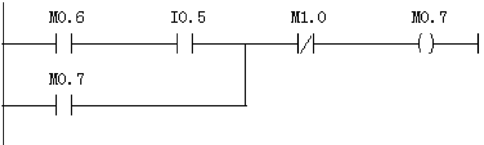
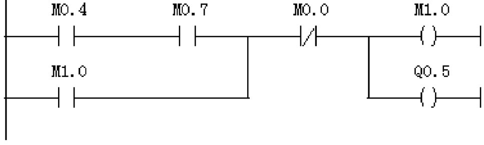


图 1-100　梯形图

程序段 10：标题：



程序段 11：标题：



程序段 12：确保M10.0首次扫描接通一个扫描周期



图 1-100　梯形图（续）

第 2 章　PLC 在过程控制中的应用

本章主要介绍 PID 的原理、PID 参数的调节方法，以及 S7-200/300/400 PLC 在 PID 控制中的应用。

2.1　PID 控制简介

2.1.1　PID 控制原理简介

在过程控制中，按偏差的比例（P）、积分（I）和微分（D）进行控制的 PID 控制器（也称 PID 调节器）是应用最广泛的一种自动控制器。它具有原理简单、易于实现、适用面广、控制参数相互独立、参数选定比较简单以及调整方便等优点；而且在理论上可以证明，对于过程控制的典型对象 –“一阶滞后 + 纯滞后”与“二阶滞后 + 纯滞后”的控制对象，PID 控制器是一种最优控制。PID 调节规律是连续系统动态品质校正的一种有效方法，其参数整定方式简便，结构改变灵活（如可为 PI 调节、PD 调节等）。长期以来，PID 控制器被广大科技人员及现场操作人员所采用，并积累了大量的经验。

PID 控制器就是根据系统的误差，利用比例、积分、微分计算出控制量来进行控制。当被控对象的结构和参数不能完全掌握、或得不到精确的数学模型、或控制理论的其他技术难以采用时，系统控制器的结构和参数必须依靠经验和现场调试来确定，这时应用 PID 控制技术最为方便。即当不完全了解一个系统和被控对象，或不能通过有效的测量手段来获得系统参数时，最适合采用 PID 控制技术。

1. 比例（P）控制

比例控制是一种最简单、最常用的控制方式，如放大器、减速器和弹簧等。比例控制器能立即成比例地响应输入的变化量。但仅有比例控制时，系统输出存在稳态误差（Steady – state Error）。

2. 积分（I）控制

在积分控制中，控制器的输出量是输入量对时间的积累。对于一个自动控制系统，如果在进入稳态后存在稳态误差，则称这个控制系统是有稳态误差的或简称有差系统（System with Steady – state Error）。为了消除稳态误差，在控制器中必须引入“积分项”。积分项对误差的运算取决于时间的积分，随着时间的增加，积分项会增大。所以即便误差很小，积分项也会随着时间的增加而加大，它推动控制器的输出增大，使稳态误差进一步减小，直到等于零。因此，采用比例 + 积分（PI）控制器，可以使系统在进入稳态后无稳态误差。

3. 微分（D）控制

在微分控制中，控制器的输出与输入误差信号的微分（即误差的变化率）成正比关系。自动控制系统在克服误差的调节过程中可能会出现振荡甚至失稳。其原因是由于存在有较大的惯性组件（环节）或有滞后（delay）组件，具有抑制误差的作用，其变化总是落后于误

差的变化。解决的办法是使抑制误差的作用的变化“超前”，即在误差接近零时，抑制误差的作用就应该是零。这就是说，在控制器中仅引入“比例”项往往是不够的，比例项的作用仅是放大误差的幅值，而目前需要增加的是“微分项”，它能预测误差变化的趋势，这样，具有比例 + 微分的控制器就能够提前使抑制误差的控制作用等于零，甚至为负值，从而避免被控量的严重超调。所以对有较大惯性或滞后的被控对象，比例 + 微分（PD）控制器能改善系统在调节过程中的动态特性。

4. 闭环控制系统特点

控制系统一般可以分为开环控制系统和闭环控制系统两类。开环控制系统（Open - loop Control System）是指被控对象的输出（被控制量）对控制器（controller）的输出没有影响，在这种控制系统中，不依赖将被控制量反送回来以形成任何闭环回路。闭环控制系统（Closed - loop Control System）的特点是系统被控对象的输出（被控制量）会反送回来影响控制器的输出，形成一个或多个闭环。闭环控制系统有正反馈和负反馈，若反馈信号与系统给定值信号相反，则称为负反馈（ Negative Feedback）；若极性相同，则称为正反馈。一般闭环控制系统均采用负反馈，又称负反馈控制系统。可见，闭环控制系统性能远优于开环控制系统。

5. PID 控制器的主要优点

PID 控制器成为应用最广泛的控制器，它具有以下优点：

1）PID 算法蕴涵了动态控制过程中过去、现在、将来的主要信息，而且其配置几乎最优。其中，比例（P）代表了当前的信息，起纠正偏差的作用，使过程反应迅速。微分（D）在信号变化时有超前控制作用，代表将来的信息。在过程开始时强迫过程进行，过程结束时减小超调，克服振荡，提高系统的稳定性，加快系统的过渡过程。积分（I）代表了过去积累的信息，它能消除静差，改善系统的静态特性。此三种作用配合得当，可使动态过程快速、平稳、准确，收到良好的效果。

2）PID 控制适应性好，有较强的鲁棒性，对各种工业应用场合，都可在不同的程度上应用。特别适于“一阶惯性环节 + 纯滞后”和“二阶惯性环节 + 纯滞后”的过程控制对象。

3）PID 算法简单明了，各个控制参数相对较为独立，参数的选定较为简单，形成了完整的设计和参数调整方法，很容易为工程技术人员所掌握。

4）PID 控制根据不同的要求，针对自身的缺陷进行了不少改进，形成了一系列改进的 PID 算法。例如，为了克服微分带来的高频干扰的滤波 PID 控制，为克服大偏差时出现饱和超调的 PID 积分分离控制，为补偿控制对象非线性因素的可变增益 PID 控制等。这些改进算法在一些应用场合取得了很好的效果。同时，当今智能控制理论的发展，又形成了许多智能 PID 控制方法。

2.1.2 PID 控制的算法和图解

1. PID 的算法

PID 控制系统原理框如图 2-1 所示。

PID 控制器调节输出，保证偏差（e）为零，使系统达到稳定状态，偏差是给定值（SP）和过程变量（PV）的差。PID 控制的原理基于以下公式：

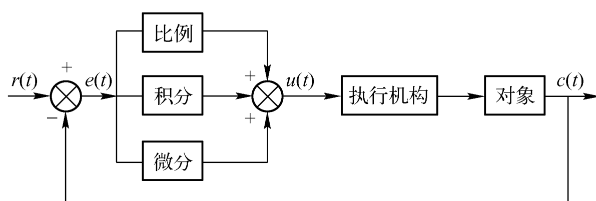


图 2-1　PID 控制系统原理框

$$M(t)=K_C\cdot e+K_c\int_0^1 e\mathrm{d}t+M_{initial}+K_C\cdot\frac{\mathrm{d}e}{\mathrm{d}t} \tag{2-1}$$

公式中：$M(t)$是 PID 回路的输出，K_C 是 PID 回路的增益，e 是 PID 回路的偏差（给定值与过程变量的差），$M_{initial}$是 PID 回路输出的初始值。

由于以上的算式是连续量，必须将连续量离散化才能在计算机中运算，离散处理后的算式如下：

$$M_n=K_C\cdot e_n+K_I\cdot\sum_1^n e_x+M_{initial}+K_D\cdot(e_n-e_{n-1}) \tag{2-2}$$

式中，M_n 是在第 n 个采样时刻 PID 回路的输出的计算值；K_C 是 PID 回路的增益；K_I 是积分项的比例常数；K_D 是微分项的比例常数；e_n 是第 n 个采样时刻的回路的偏差值；e_{n-1}是第 $n-1$ 个采样时刻的回路的偏差值；e_x 是第 x 个采样时刻的回路的偏差值；$M_{initial}$是 PID 回路输出的初始值。

再对以上算式进行改进和简化，得出如下计算 PID 输出的算式：

$$M_n=MP_n+MI_n+MD_n \tag{2-3}$$

式中，M_n 是第 n 个采样时刻的计算值；MP_n 是第 n 个采样时刻的比例项值；MI_n是第 n 个采样时刻的积分项的值；MD_n 是第 n 个采样时刻微分项的值。

$$MP_n=K_C*(SP_n-PV_n) \tag{2-4}$$

式中，MP_n 是第 n 个采样时刻的比例项值；K_C 是增益；SP_n 是第 n 个采样时刻的给定值；PV_n 是第 n 个采样时刻的过程变量值。很明显，比例项 MP_n 数值的大小和增益 K_C 成正比，增益 K_C 增加可以直接导致比例项 MP_n 的快速增加，从而直接导致 M_n 增加。

$$MI_n=K_C*T_S/T_I*(SP_n-PV_n)+MX \tag{2-5}$$

式中，K_C 是增益；T_S 是回路的采样时间；T_I 是积分时间；SP_n 是第 n 个采样时刻的给定值；PV_n 是第 n 个采样时刻的过程变量值；MX 是第 $n-1$ 个采样时刻的积分项（也称为积分前项）。很明显，积分项 MI_n 数值的大小随着积分时间 T_I 的减小而增加，T_I 的减小可以直接导致积分项 MI_n 数值的增加，从而直接导致 M_n 增加。

$$MD_n=K_C*(PV_{n-1}-PV_n)*T_D/T_S \tag{2-6}$$

式中，K_C 是增益；T_S 是回路的采样时间；T_D 是微分时间；PV_n 是第 n 个采样时刻的过程变量值；PV_{n-1}是第 $n-1$ 个采样时刻的过程变量。很明显，微分项 MD_n 数值的大小随着微分时间 T_D 的增加而增加，T_D 的增加可以直接导致积分项 MD_n 数值的增加，从而直接导致 M_n 增加。

【关键点】 式（2-3）~式(2-6）是非常重要的。根据这几个公式，读者必须建立一个概念：增益 K_C 的增加可以直接导致比例项 MP_n 的快速增加，T_I 的减小可以直接导致积分项 MI_n 数值的增加，微分项 MD_n 数值的大小随着微分时间 T_D 的增加而增加，从而直接导致 M_n

的增加。理解这一点，对于正确调节 P、I、D 三个参数是至关重要的。

2. PID 的算法图解

以上对 PID 控制进行了数学计算，但对于数学功底薄弱的初学者来说较难理解。以下将用图解的方法对 PID 参数的作用进行说明，这样更加直观易懂。

（1）纯比例控制曲线

纯比例控制曲线如图 2-2 所示。

图 2-2 中，假设被调量（如果是电炉，那么被调量是温度）偏高时，调门应关小，即 PID 为负作用。在定值有一阶跃扰动时，调节器输入偏差为 - △e。此时 Mout（即 PID 运算后的输出值）也应有一阶跃量△e ·Kc，然后被调量不变。经过一个滞后期 t2，被调量开始响应 Mout。因为被调量增加，Mout 也开始降低。一直到 t4 时刻，被调量开始恢复时，Mout 才开始升高。两曲线虽然波动相反，但是图形如果反转，就可以看出是相似形。

（2）纯积分控制曲线

纯积分控制曲线如图 2-3 所示。

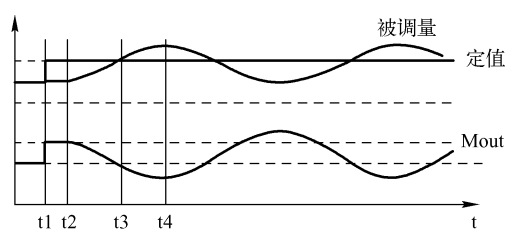


图 2-2　纯比例控制曲线

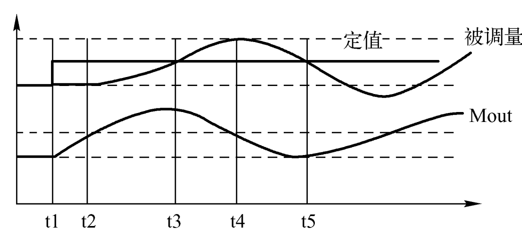


图 2-3　纯积分控制曲线

积分作用下的调节曲线，因输出的响应较比例作用不明显，故被调量开始变化的时刻 t2，较比例作用缓慢。在 t1 到 t2 的时间内，因为被调量不变，即输入偏差不变，所以输出以不变的速率上升，即呈线性上升。调节器的输出缓慢改变，导致被调量逐渐受到影响而改变。在 t2 时刻，被调量开始变化时，输入偏差逐渐减小，输出的速率开始降低。到 t3 时刻，偏差为 0 时，输出不变，输出曲线为水平。然后偏差开始为正时，输出才开始降低。到 t4 时刻，被调量达到顶点开始回复，但是因偏差仍旧为正，故输出继续降低只是速率开始减缓。直到 t5 时刻，偏差为 0 时，输出才重新升高。

（3）比例积分控制曲线

如图 2-4 所示，定值有阶跃扰动时，比例作用使输出曲线 Mout 同时有一个阶跃扰动，同时积分作用使 Mout 开始继续增大。t2 时刻后，被调量响应 Mout 开始增大。此时比例作用因△e 减小而使 Mout 开始降低（如图中点画线 Mout（δ）所示）；但是前文说了积分作用与△e 的趋势无关，与△e 的正负有关，积分作用因△e 还在负向，故继续使 Mout 增大，只是速率有所减缓。比例作用和积分作用的叠加，决定了 Mout 的实际走向，如图 2-4 中 Mout（δ_i）所示。只要比例作用不是无穷大，

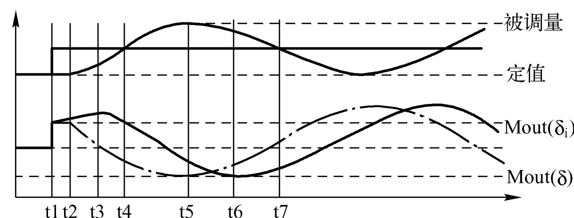


图 2-4　比例积分控制曲线

或是积分作用不为零，从 t2 时刻开始，总要有一段时间是积分作用强于比例作用，使得 Mout 继续升高，然后持平（t3 时刻），之后降低。在被调量升到顶峰的 t5 时刻，同理，比例作用使 Mout 也达到顶点（负向），而积分作用使得最终 Mout 的顶点向后延时（t6 时刻）。

2.1.3 PID 控制器的参数整定

PID 控制器的参数整定是控制系统设计的核心内容。它是根据被控过程的特性，确定 PID 控制器的比例系数、积分时间和微分时间的大小。PID 控制器参数整定的方法很多，概括起来有如下两大类：

一是理论计算整定法。它主要依据系统的数学模型，经过理论计算确定控制器参数。这种方法所得到的计算数据未必可以直接使用，还必须通过工程实际进行调整和修改。

二是工程整定法。它主要依赖于工程经验，直接在控制系统的试验中进行，且方法简单、易于掌握，在工程实际中被广泛采用。PID 控制器参数的工程整定方法主要有临界比例法、反应曲线法和衰减法。这三种方法各有其特点，其共同点都是通过试验，然后按照工程经验公式对控制器参数进行整定。但无论采用哪一种方法所得到的控制器参数，都需要在实际运行中进行最后的调整与完善。

1. 整定的方法和步骤

现在一般采用的是临界比例法。利用该方法进行 PID 控制器参数的整定步骤如下：

1）首先预选择一个足够短的采样周期让系统工作。

2）仅加入比例控制环节，直到系统对输入的阶跃响应出现临界振荡，记下此时的比例放大系数和临界振荡周期。

3）在一定的控制度下通过公式计算得到 PID 控制器的参数。

2. PID 参数的经验值

在实际调试中，只能先大致设定一个经验值，然后根据调节效果修改，常见系统的经验值如下：

1）对于温度系统：P（%）20～60，I（分钟）3～10，D（分钟）0.5～3。

2）对于流量系统：P（%）40～100，I（分钟）0.1～1。

3）对于压力系统：P（%）30～70，I（分钟）0.4～3。

4）对于液位系统：P（%）20～80，I（分钟）1～5。

2.2 用 S7-200/300/400 PLC 进行电炉的温度控制

2.2.1 利用 S7-200 PLC 进行电炉的温度控制

S7-200 PLC 有 PID 指令，可以方便地进行 PID 控制。

【例 2-1】 有一台电炉要求炉温控制在一定的范围内。电炉的工作原理如下：

当设定电炉温度后，S7-200 PLC 经过 PID 运算后由模拟量输出模块 EM232 输出一个电压信号送到控制板，控制板根据电压信号（弱电信号）的大小控制电热丝的加热电压（强电）的大小（甚至断开），温度传感器测量电炉的温度，温度信号经过控制板的处理后输入到模拟量输入模块 EM231，再送到 S7-200 PLC 进行 PID 运算，如此循环。整个系统的硬件

配置如图 2-5 所示。请编写控制程序。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEPS7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 台 CPU222CN。

③ 1 台 EM231。

④ 1 台 EM232。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

⑥ 1 台电炉（含控制板）。

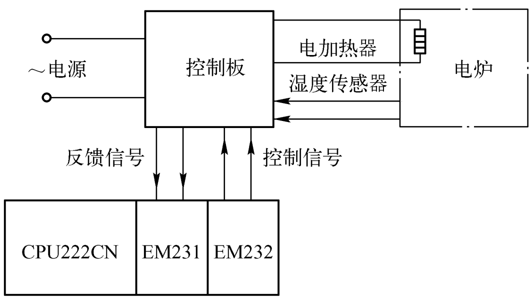


图 2-5　硬件配置图

2. 主要指令介绍

PID 回路（PID）指令，当使能有效时，根据表格（TBL）中的输入和配置信息指定回路执行 PID 计算。PID 指令的格式见表 2-1。

表 2-1　PID 指令格式

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
PID（EN ENO TBL LOOP）	EN	使能	BOOL
	TBL	参数表的起始地址	BYTE
	LOOP	回路号，常数范围 0～7	BYTE

PID 指令使用注意事项：

① 程序中最多可以使用 8 条 PID 指令，回路号为 0～7，不能重复使用。

② 必须保证过程变量和给定值积分项前值和过程变量前值在 0.0～1.0 之间。

③ 如果进行 PID 计算的数学运算时遇到错误，将设置 SM1.1（溢出或非法数值）并终止 PID 指令的执行。

在工业生产过程中，模拟信号 PID（由比例、积分和微分构成的闭合回路）调节是常见的控制方法。运行 PID 控制指令，S7-200 将根据参数表中输入测量值、控制设定值及 PID 参数，进行 PID 运算，求得输出控制值。参数表中有 9 个参数，共占用 36 个字节，全部是 32 位的实数，部分保留给自整定用。PID 控制回路的参数表见表 2-2。

表 2-2　PID 控制回路参数表

偏移地址	参　　数	数据格式	参数类型	描　　述
0	过程变量 PVn	REAL	输入/输出	必须在 0.0～1.0 之间
4	给定值 SPn	REAL	输入	必须在 0.0～1.0 之间
8	输出值 Mn	REAL	输入	必须在 0.0～1.0 之间
12	增益 K_c	REAL	输入	增益是比例常数，可正可负
16	采样时间 T_s	REAL	输入	单位为秒，必须是正数
20	积分时间 T_I	REAL	输入	单位为分钟，必须是正数
24	微分时间 T_d	REAL	输入	单位为分钟，必须是正数
28	上一次积分值 M_X	REAL	输入/输出	必须在 0.0～1.0 之间
32	上一次过程变量 PV_{n-1}	REAL	输入/输出	最后一次 PID 运算过程变量值
36～79	保留自整定变量			

3. I/O 分配

在 I/O 分配之前，先计算所需要的 I/O 点数，输入点为 3 个，输出点为 1 个，由于输入输出最好留 15%左右的余量备用，所用初步选择的 PLC 是 CPU222CN 或者 CPU221CN，但 CPU221CN 不能带扩展模块，所以选择 CPU222CN 模块。又因为控制对象为接触器，所以 PLC 最后定为 CPU222CN（AC/DC/继电器）。电炉控制系统的 I/O 分配表见表 2-3。

表 2-3 I/O 分配表

输入			输出		
名称	符号	输入点	名称	符号	输出点
起动按钮	SB1	I0.0	继电器	KA1	Q0.0
停止按钮	SB2	I0.1			
急停按钮	SB3	I0.2			

4. 设计电气原理图

根据 I/O 分配表和题意，设计原理图如图 2-6 所示。

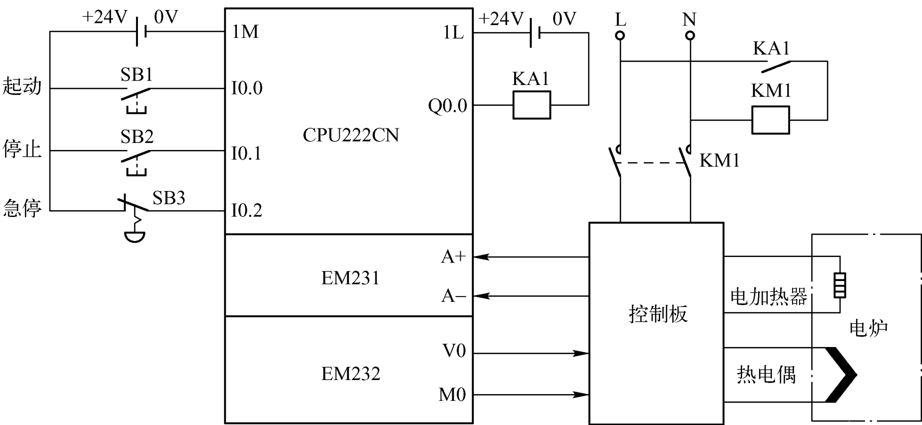


图 2-6 原理图

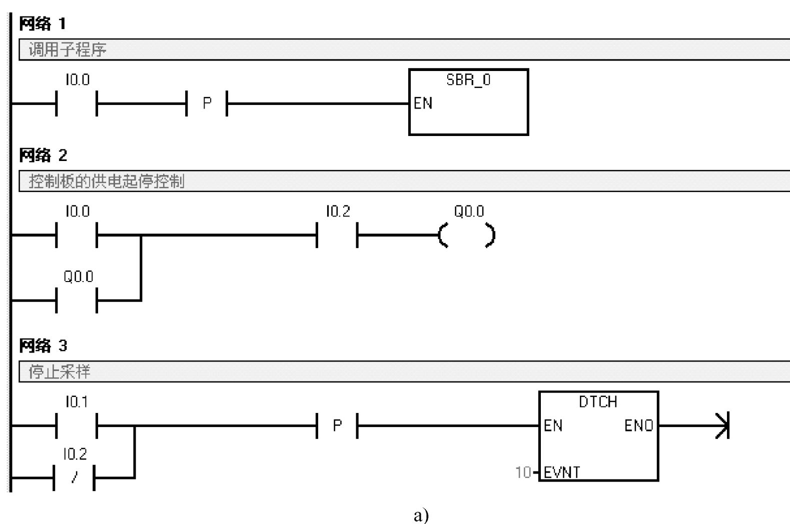
5. 编写程序

编写 PLC 控制程序共有三种方案。第一种方案不需要使用 PID 指令，直接从底层算法编写程序，这种编程方法，PID 的控制精度较高，但对编写者水平要求高，本书不作介绍，读者可以参考相关文献。第二种方法采用指令向导，较常用，后续将介绍。第三种方法直接用 PID 指令编写程序，其程序如图 2-7 所示。

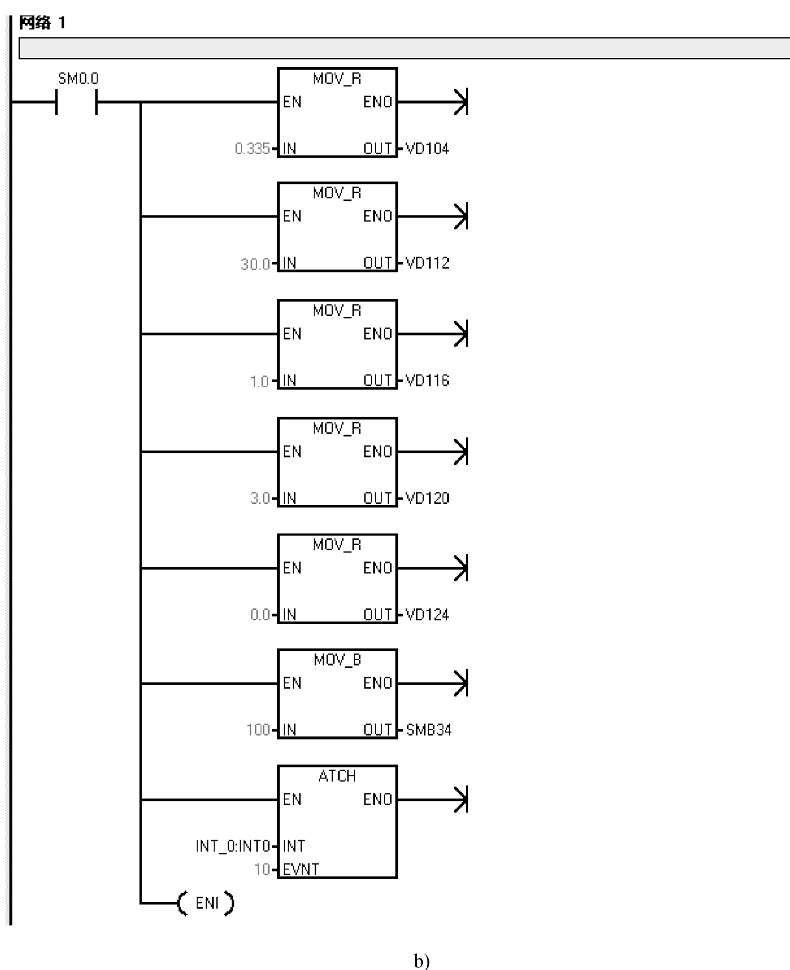
【关键点】 编写此程序首先要理解 PID 的参数表各个参数的含义，其次是要理解数据类型的转换。要将整数转化成实数，必须先将整数转化成双整数，因为 S7-200 中没有直接将整数转化成实数的指令。

6. 用指令向导编写 PID 控制程序

若读者对控制过程了解得比较清楚，用以上的方法编写 PID 控制程序是可行的，但显然比较麻烦，初学者不容易理解，所幸西门子公司提供了指令向导，读者利用指令向导就比较容易编写 PID 控制程序。以下将介绍这一方法。



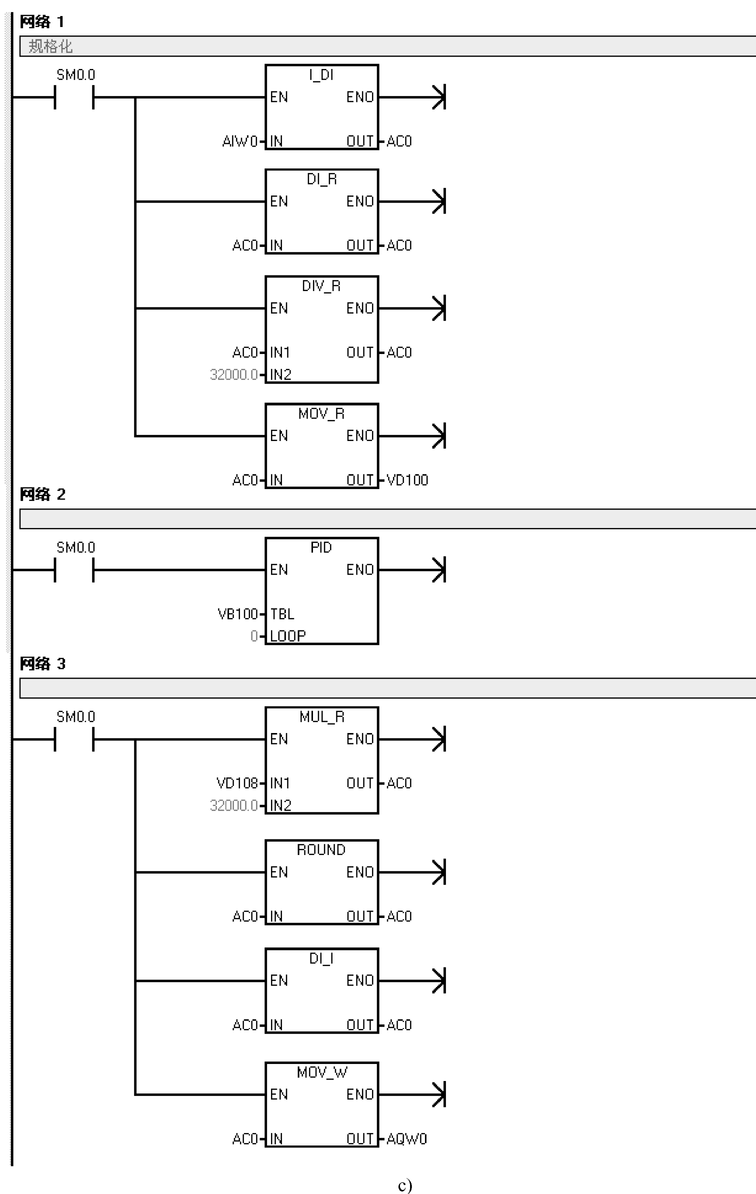
a)



b)

图 2-7　电炉 PID 控制程序

a）主程序　b）子程序　c）中断服务程序



c)

图 2-7　电炉 PID 控制程序（续）

a）主程序　b）子程序　c）中断服务程序

（1）硬件设置

1）打开指令向导。单击菜单栏中的“工具”→“指令向导”，即可打开指令向导画面，如图 2-8 所示。或者单击左侧“工具”→“指令向导”也可以打开指令向导画面。

2）选择 PID 选项。指令向导有三个选项，即 PID、网络读写和高速计数器，选择“PID”选项，单击“下一步”按钮，如图 2-9 所示。

3）指定回路号码。S7-200 最多允许 8 个回路，当只有一个回路时，可选择默认的回路号为“0”，如图 2-10 所示，单击“下一步”按钮。



图 2-8　打开指令向导

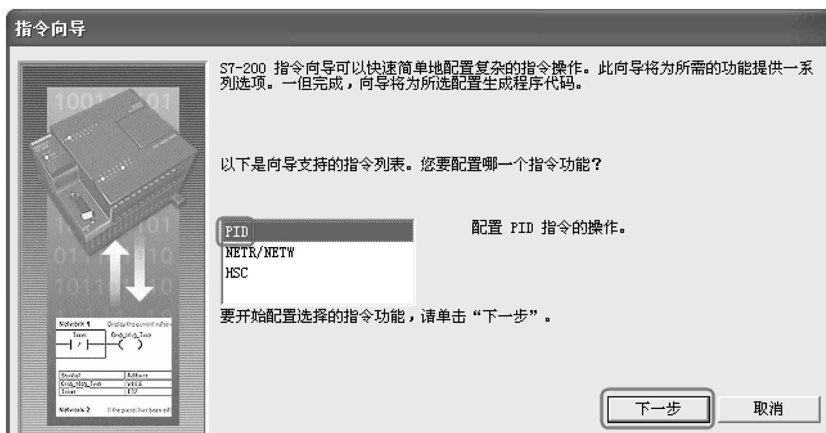


图 2-9　选择 PID 选项



图 2-10　指定回路号码

4）设置回路参数。如图 2-11 所示，比例增益就是比例环节的参数（即 P），本例设置为“2”；采样时间是 0.2 s，如果参数的变化快于 0.2 s 将不能采样，S7-200 规定最小采样时间是 0.1 s；本例积分时间是 10 min（即 I），如果要取消积分环节，则在积分事件中填入“INF”（即无穷大）；本例的微分时间为 0 min（即 D），也就是微分环节被取消。本例给定

的范围为0.0～100.0，可以理解为温度范围是0～100℃（如果实际温度是－10～1000℃，则按照实际填入），也可以理解为范围是0～100%。以上参数可在调试时修改。单击“下一步”按钮。



图 2-11　设置回路参数

5）设置回路输入和输出选项。

① 回路输入选项。“标定”中有单极性和双极性2个选项，代表输入信号的极性（过零则为双极性，如±2V，不过零为单极性），如果输入信号是DC 4～20mA的信号，可选择“使用20%偏移量”；“过程变量”和回路给定值有一个对应关系，过程变量0，对应回路给定值0℃，过程变量32000，对应回路给定值100℃。如图2-12所示。

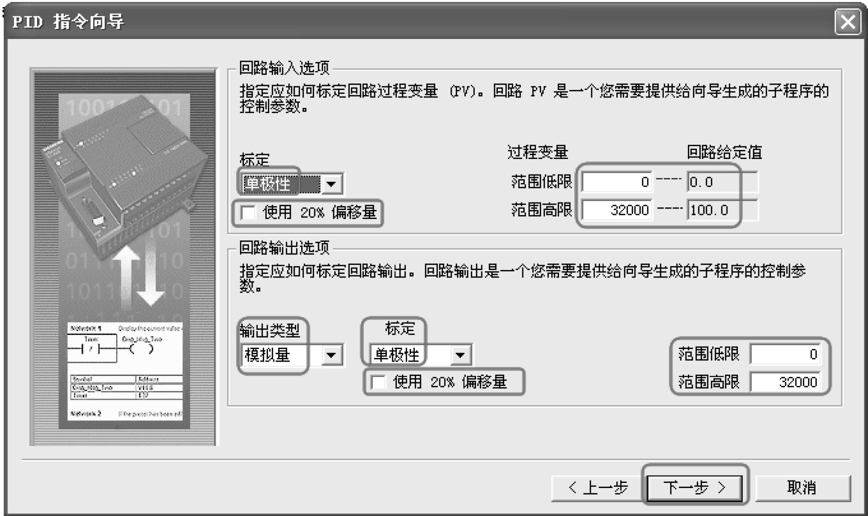


图 2-12　设置回路输入和输出选项

② 回路输出选项。“输出类型”有模拟量和数字量两个选项，本例使用的是EM232模拟量模块，所以选择“模拟量”；“标定”中有单极性和双极性两个选项，代表输出信号的

极性（过零则为双极性，如 ±2V，不过零为单极性），如果输出信号是 DC 4 ~ 20mA，可选择“使用20%偏移量”；范围低限和范围高限是 D – A 转换的数字量的范围，选择默认值。最后单击“下一步”按钮。

6）设置回路报警选项。当达到报警条件时，输出被置位，产生报警。如图 2-13 所示，当温度低于 100℃（10%）时报警，当温度高于 90℃（90%）时也报警。单击“下一步”按钮。

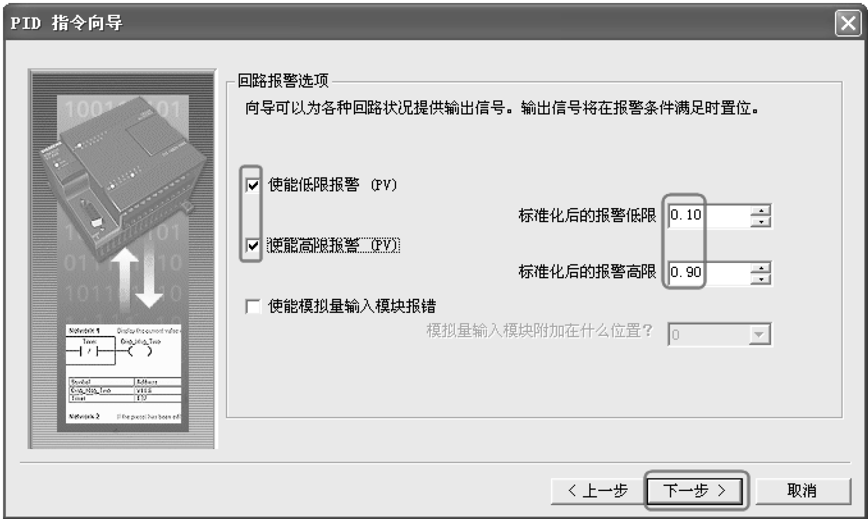


图 2-13　设置回路输入和输出选项

7）为计算指定存储区。PID 指令使用 V 存储区中的一个 36 个字节的参数表，存储用于控制回路操作的参数。这个 V 存储区可以由读者分配也可以使用系统默认 V 存储区，但要注意，这个 V 存储区被系统占用后，读者编程时，不可以再使用，否则可能导致错误的结果。如图 2-14 所示，单击“下一步”按钮。



图 2-14　为计算指定存储区

8）指定子程序和中断程序。图 2-15 所示为子程序和中断程序的名称，这两个名称读者可以修改，也可以使用系统默认的名称，由于有多个回路时，初始化子程序不同，但多个回路使用同一个中断程序（如 PID_EXE），修改名称容易出错，所以不建议修改名称。如果需要手动控制，则勾选“增加 PID 手动控制”选项。单击“下一步”按钮。

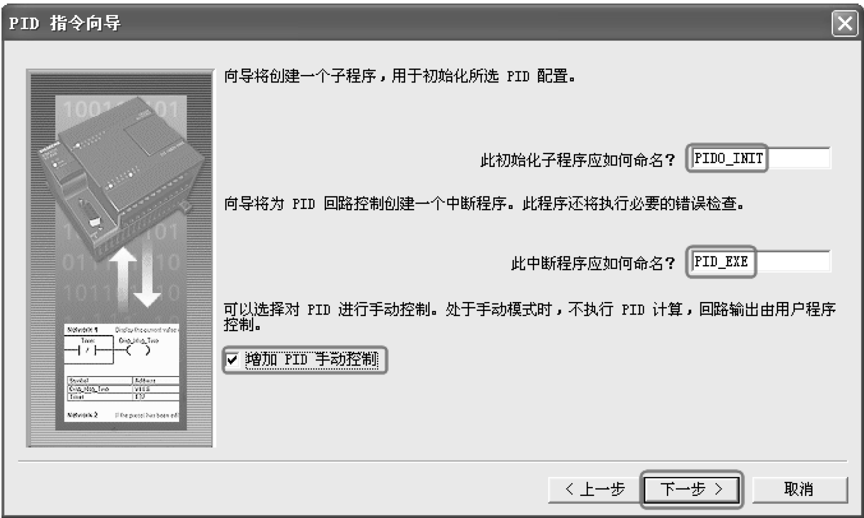


图 2-15　指定子程序和中断程序

【关键点】 本例的中断程序 PID_EXE，使用了定时中断 0，所以读者若还要使用定时中断，则只能使用定时中断 1。

9）生成 PID 代码。如图 2-16 所示，单击“完成”按钮，即可生成 PID 代码。

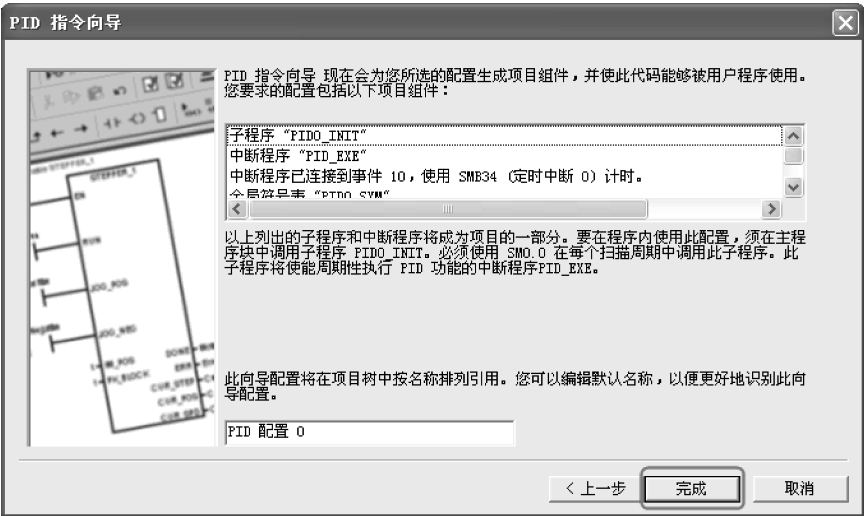
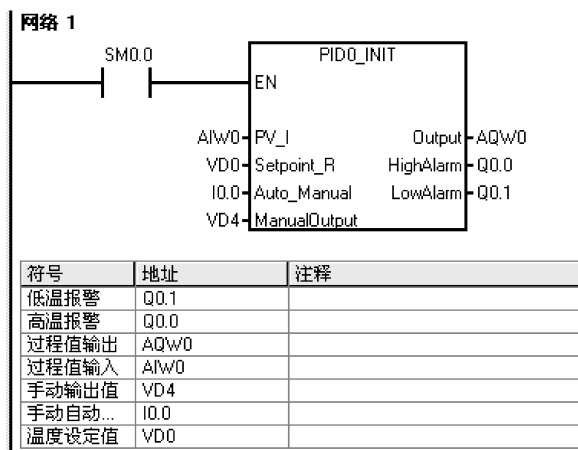


图 2-16　生成 PID 代码

（2）编写和下载程序

程序和符号表如图 2-17 所示，并将程序下载到 PLC 中。



符号	地址	注释
低温报警	Q0.1	
高温报警	Q0.0	
过程值输出	AQW0	
过程值输入	AIW0	
手动输出值	VD4	
手动自动...	I0.0	
温度设定值	VD0	

图 2-17　程序

（3）调试

1）打开 PID 调节控制面板。单击“工具”→“PID 调节控制面板”，PID 调节控制面板如图 2-18 所示。PID 调节控制面板只能在使用指令向导生成的 PID 程序中使用。

从图 2-18 可以看出当过程值（传感器测量数值）与给定值（即设定值，本例为 60.0℃）相差较大时，输出值很大，随着过程值接近给定值时，输出值减小，并在一定的范围内波动。

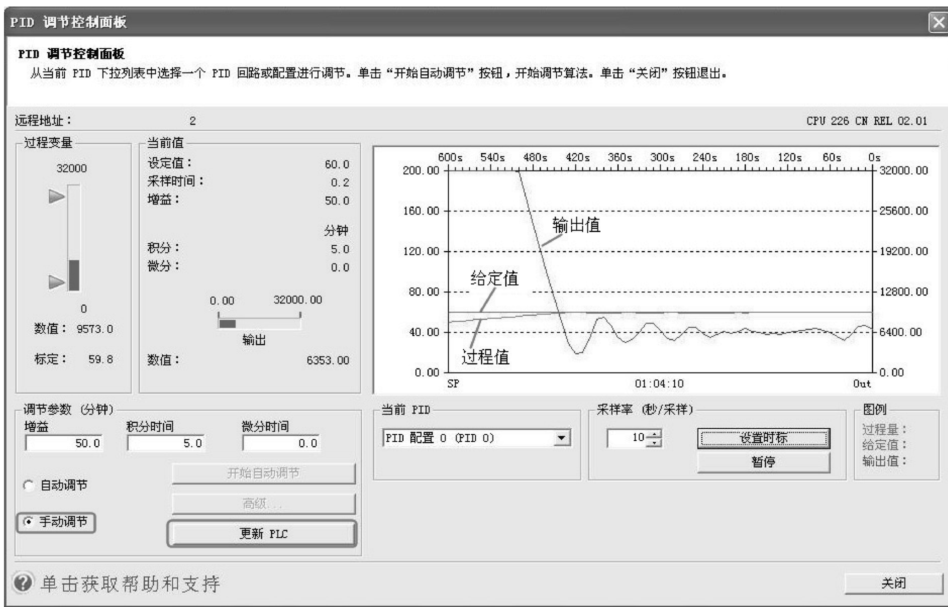


图 2-18　PID 调节控制面板

2）选择手动调节模式。在“增益”（P）、“积分时间”（I）和“微分时间”（D）中输入参数，并单击“更新 PLC 参数”按钮，这样 P、I、D 三个参数就写入到 PLC 中。调试完成后可以看到如图 2-19 所示的画面，过程值和给定值基本重合（此图的给定值为 33.5℃）。

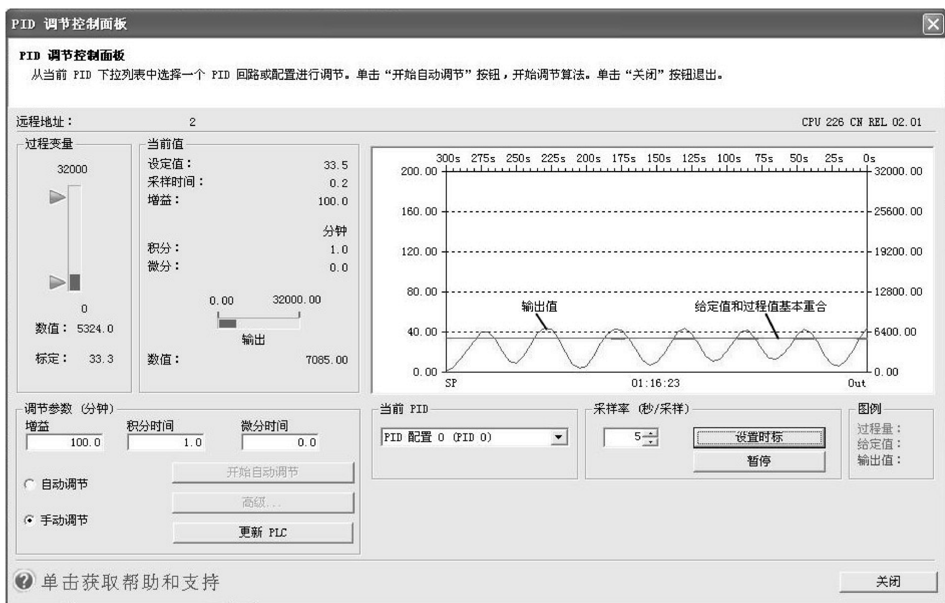


图 2-19　PID 调节控制面板（1）

【关键点】 为了保证 PID 自整定的成功，在启动 PID 自整定前，需要调节 PID 参数，使 PID 调节器基本稳定，输出、反馈变化平缓，并且使反馈比较接近给定；设定合适的给定值，使 PID 调节器的输出远离趋势图的上下坐标轴，以免 PID 自整定开始后输出值的变化范围受限制。

2.2.2　利用 S7-300/400 PLC 进行电炉的温度控制

S7-300 PLC 提供有 PID 控制功能块来实现 PID 控制。STEP7 提供了系统功能块 SFB41、SFB42 和 SFB43 实现 PID 闭环控制，其中 SFB41 “CONT_C” 用于连续控制；SFB42 “CONT_S” 用于步进控制；SFB43 “PULSEGEN” 用于脉冲宽度调制，它们位于文件夹 “Libraries→Standard Library→PID Controller” 中。位于文件夹 “Libraries→Standard Library→PID Controller” 的 FB41、FB41、FB43 与 SFB41、SFB42、SFB43 兼容，前者用于 S7-300 PLC，而后者用于 S7-400 PLC。FB58、FB59 则用于 PID 温度控制，它们是系统固化的纯软件控制器，运行过程中循环扫描、计算所需的全部数据存储在分配给 FB 或 SFB 的背景数据块里，因此可以无限次调用。

【例 2-2】 有一台电炉要求炉温控制在一定的范围。电炉的工作原理如下：

当设定电炉温度后，CPU314C-2DP 经过 PID 运算后由自带模拟量输出模块输出一个电压信号送到控制板，控制板根据电压信号（弱电信号）的大小控制电热丝的加热电压（强电）的大小（甚至断开），温度传感器测量电炉的温度，温度信号经过控制板的处理后输入到模拟量输入模块，再送到 CPU314C-2DP 进行 PID 运算，如此循环。整个系统的硬件配置如图 2-20 所示。请编写控制程序。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP7 V5.5 SP3。

② 1 台 CPU 314C－2DP。
③ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。
④ 1 台电炉（含控制板）。
电气原理图如图 2-21 所示。

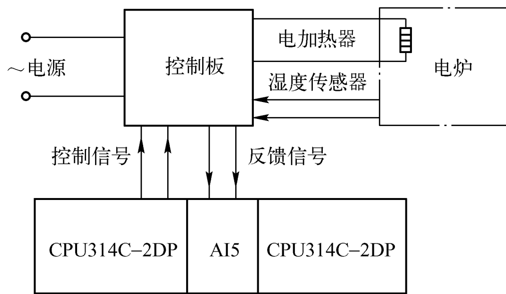


图 2-20　硬件配置图

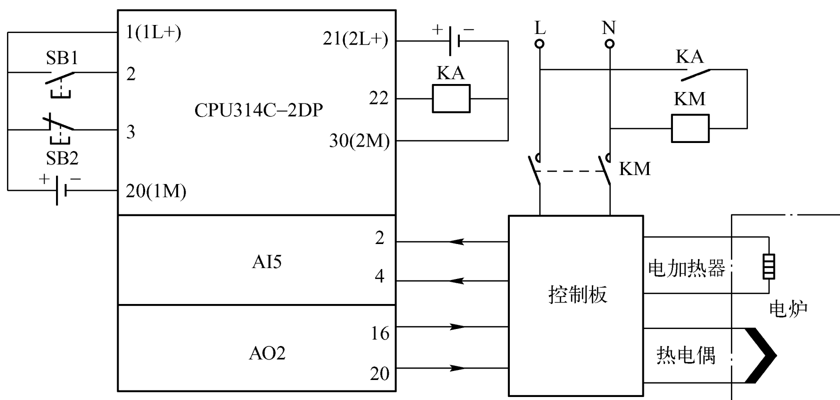


图 2-21　电气原理图

2. 硬件组态

1）新建工程，并插入站点。新建工程，命名为“PID（FB41）”，插入站点“SIMATIC 300（1）”，再在“Blocks”里插入组织块“OB35”、“OB35”和参数表“VAT_1”，如图 2-22 所示。



图 2-22　新建工程，并插入站点

2）更改地址。双击“1”处的“DI24/DO16”，将数字量输入/输出的起始地址修改成

从 0 开始，双击“1”处的“DI24/DO16”，将模拟量输入/输出的起始地址修改成从 3 开始，如图 2-23 所示。

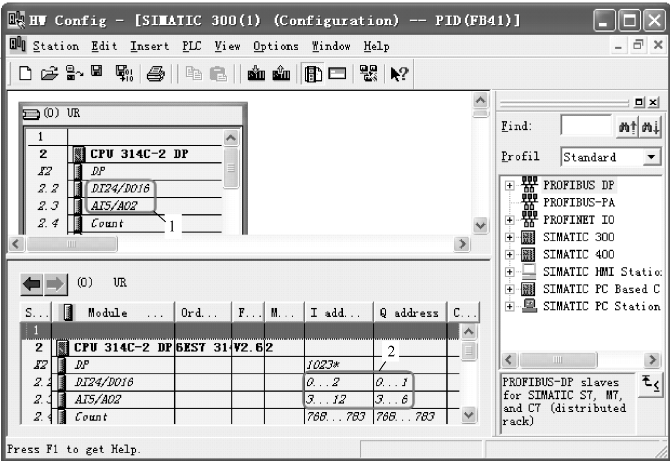


图 2-23　更改地址

3）设置模拟输入量测量范围。先选定输入选项卡，再选定“温度单位”为“摄氏度”，选择测量范围为“0～10 V”，最后单击“确定”按钮，如图 2-24 所示。

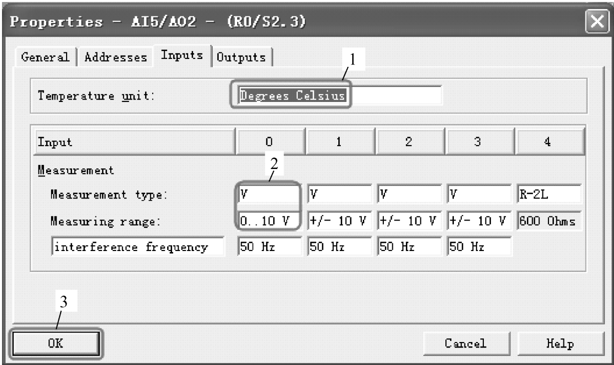


图 2-24　设置模拟输入量测量范围

4）设置模拟输出量测量范围。先选定输出选项卡，再选择输出电压范围为“0～10 V”，单击“确定”按钮，如图 2-25 所示。

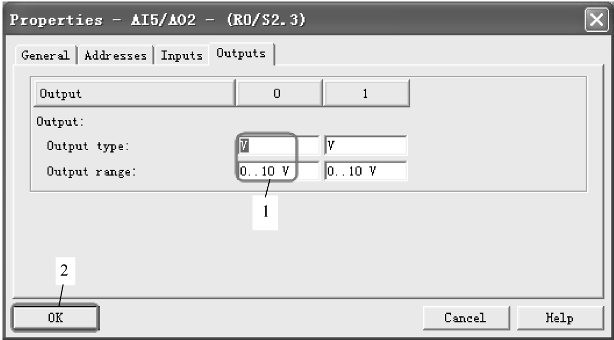


图 2-25　设置模拟输出量测量范围

3. 相关指令介绍

（1）FB41 指令

FB41“CONT_C”（连续控制器）在 SIMATIC S7 可编程逻辑控制器上使用，通过持续的输入和输出变量来控制工艺过程。在参数分配期间，可以通过激活或取消激活 PID 控制器的子功能使控制器适应过程的需要。

可以使用该控制器作为 PID 固定设定值控制器或在多循环控制中作为层叠、混料或比率控制器。该控制器的功能基于使用模拟信号的采样控制器的 PID 控制算法，必要时可以通过加入脉冲发生器阶段进行扩展，为使用成比例执行机构的两个或三个步骤控制器生成脉冲持续时间调制输出信号。但要注意只有在以固定时间间隔调用块时，在控制块中计算的值才是正确的。为此，应该在周期性中断 OB（OB30 至 OB38）中调用控制块。在 CYCLE 参数中输入采样时间。FB41 指令的主要参数见表 2-4。

表 2-4　FB41 指令参数

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
FB41 EN　ENO COM_RST　LMN MAN_ON　LMN_PER PVPER_ON　QLMN_HLM P_SEL　QLMN_LLM I_SEL　LMN_P INT_HOLD　LMN_I I_ITL_ON　LMN_D D_SEL　PV CYCLE　ER SP_INT PV_IN PV_PER MAN GAIN TI TD TM_LAG DEADB_W LMN_HLM LMN_LLM PV_FAC PV_OFF LMN_FAC LMN_OFF I_ITLVAL DISV	EN	使能	BOOL
	COM_RST	为 1 时，重新启动 PID，复位 PID 内部参数	BOOL
	MAN_ON	为 1 时控制循环中断，直接将 MAN 的值送到 LMN	BOOL
	PVPER_PV	为 1 时，使用 I/O 输入的过程变量	BOOL
	P_SEL	为 1 时，打开比例 P 操作	BOOL
	I_SEL	为 1 时，打开积分 I 操作	BOOL
	INT_HOLD	为 1 时，积分输出被冻结	BOOL
	I_ITL_ON	为 1 时，I_ITLVAL 作为积分初值	BOOL
	D_SEL	为 1 时，打开微分 D 操作	BOOL
	CYCLE	采样时间	TIME
	SP_INT	PID 给定值	REAL
	PV_IN	浮点格式过程变量输入	REAL
	PV_PER	I/O 格式过程变量输入	WORD
	MAN	手动值	REAL
	GAIN	比例增益，用于设置控制器的增益	REAL
	TI	积分时间输入，积分响应时间	TIME
	TD	微分时间输入，微分响应时间	TIME
	TM_LAG	微分操作的延时时间输入	TIME
	DEADB_W	死区宽度	REAL
	LMN_HLM	控制器输出上限	REAL
	LMN_LLM	控制器输出下限	REAL
	PV_FAC	输入过程变量的比例因子	REAL
	PV_OFF	输入过程变量的偏移量	REAL
	LMN_FAC	输出过程变量的比例因子	REAL

（续）

LAD	输入/输出	含义	数据类型
	LMN_OFF	输出过程变量的偏移量	REAL
	I_ITLVAL	积分操作的初始值	REAL
	DISV	允许搅动量，一般不设置	REAL
	LMN	浮点格式的 PID 输出值	REAL
	LMN_PER	I/O 格式的 PID 输出值	WORD
	QLMN_HLM	PID 输出值超出上限	BOOL
	QLMN_LLM	PID 输出值超出下限	BOOL
	LMN_P	PID 输出值中的比例成分	REAL
	LMN_I	PID 输出值中的积分成分	REAL
	LMN_D	PID 输出值中的微分成分	REAL
	PV	格式化的过程变量输出	REAL
	ER	死区处理后的误差输出	REAL

（2）FC105 指令

SCALE 功能接受一个整型值（IN），并将其转换为以工程单位表示的介于下限和上限（LO_LIM 和 HI_LIM）之间的实型值。将结果写入 OUT。SCALE 功能使用以下等式：

$$OUT = [((FLOAT(IN) - K1)/(K2 - K1)) \times (HI_LIM - LO_LIM)] + LO_LIM$$

常数 K1 和 K2 根据输入值是 BIPOLAR（双极性）还是 UNIPOLAR（单极性）设置。BIPOLAR 的含义是假定输入整型值介于 −27648 ~ 27648 之间，则 K1 = −27648.0，K2 = +27648.0。UNIPOLAR：假定输入整型值介于 0 ~ 27648 之间，则 K1 = 0.0，K2 = +27648.0。

表 2-5　FC105 指令参数

LAD	输入/输出	含　　义	数据类型
"SCALE" EN　ENO IN　RET_VAL HI_LIM　OUT LO_LIM BIPOLAR	EN	使能，信号状态为 1 时激活该功能	BOOL
	IN	要转换的输入值	INT
	HI_LIM	常数，工程单位表示的上限值	REAL
	LO_LIM	常数，工程单位表示的下限值	REAL
	BIPOLAR	为 1 时，表示输入值为双极性。信号状态 0 表示输入值为单极性	BOOL
	OUT	转换的结果	REAL
	RET_VAL	如果该指令的执行没有错误，将返回值 W#16#0000。对于 W#16#0000 以外的其他值，参见"错误信息"	WORD

（3）FC106 指令

UNSCALE 功能指令将一个从低限 LO_LIM 到高限 HI_LIM 工程单位的数值转换成一个整数值，将结果写入 OUT 中。这个指令满足如下公式：

$$OUT = [((IN - LO_LIM)/(HI_LIM - LO_LIM)) * (K2 - K1)] + K1$$

常数 K1 和 K2 根据输入值是 BIPOLAR（双极性）还是 UNIPOLAR（单极性）设置。BIPOLAR 的含义是假定输出整型值介于 −27648 ~ 27648 之间，则 K1 = −27648.0，K2 =

+27648.0。UNIPOLAR 的含义是假定输出整型值介于 0 ~ 27648 之间，则 K1 = 0.0，K2 = +27648.0。FC106 指令指令见表 2-6。

表 2-6　FC106 指令参数

LAD	输入/输出	含　　义	数据类型
"UNSCALE" EN　ENO IN　RET_VAL HI_LIM　OUT LO_LIM BIPOLAR	EN	使能，信号状态为 1 时激活该功能	BOOL
	HI_LIM	常数，工程单位表示的上限值	REAL
	LO_LIM	常数，工程单位表示的下限值	REAL
	BIPOLAR	为 1 时，表示输入值为双极性。信号状态 0 表示输入值为单极性	BOOL
	IN	要转换的输入值	REAL
	OUT	转换的结果	INT
	RET_VAL	如果该指令的执行没有错误，将返回值 W#16#0000。对于 W#16#0000 以外的其他值，参见"错误信息"	WORD

4. 编写程序

OB1 中的程序如图 2-26 所示；OB35 中的程序如图 2-27 所示，每 0.1 s 作一次 PID 运算。

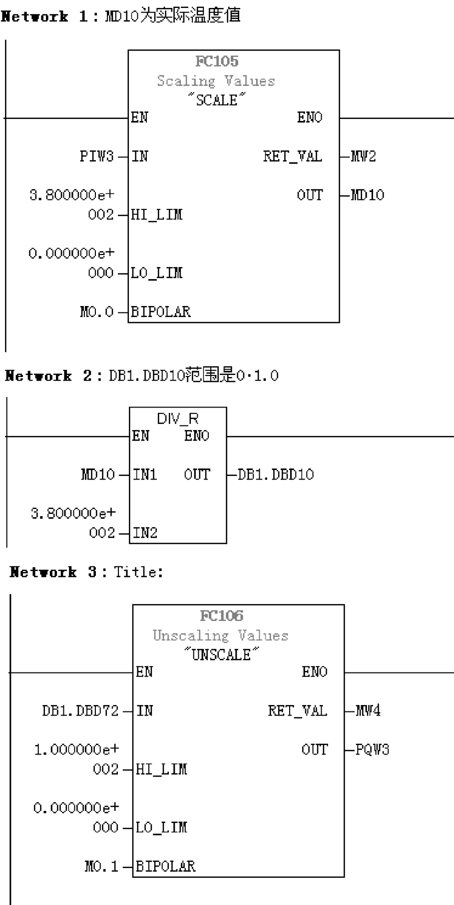


图 2-26　OB1 中的程序

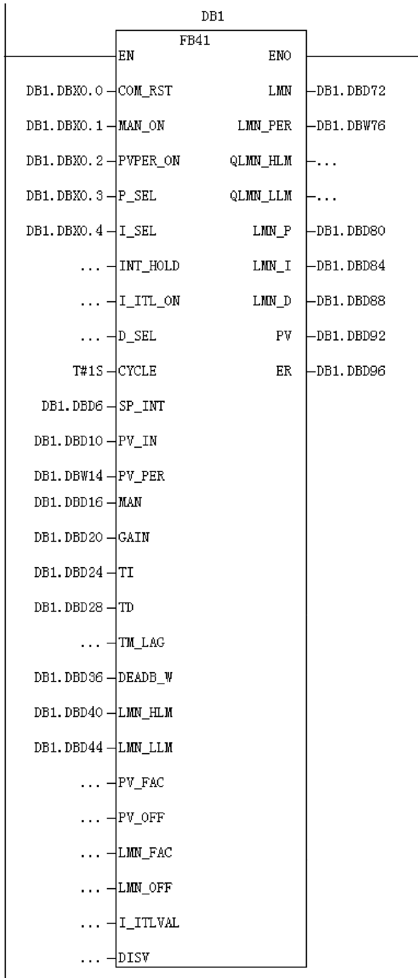


图 2-27　OB35 中的程序

【关键点】 S7-300 的程序中有的指令表是不能转换成梯形图的，因此在同一个程序中可能出现指令表和梯形图并存的情况，但这种情况在 S7-200 中是不会出现的。

电炉的温度控制使用 S7-400 PLC 与 S7-300 PLC 的方法几乎一样，程序的不同之处在于 S7-300 PLC 使用 FB41，而 S7-400 PLC 使用 SFB41。

第 3 章　PLC 在运动控制中的应用

本章介绍 S7-200 PLC 的高速输出点直接对步进电动机和伺服电动机进行运动控制，S7-200 PLC 及其定位控制模块对步进电动机进行运动控制，S7-300 PLC 利用现场总线对伺服电动机进行运动控制。读者可以根据实际情况对程序和硬件配置进行移植。

3.1　PLC 的步进电动机控制

3.1.1　直接使用 PLC 的高速输出点控制步进电动机

1. 高速脉冲输出指令介绍

高速脉冲输出功能即在 PLC 的指定输出点上实现脉冲输出（PTO）和脉宽调制（PWM）功能。S7-200 PLC 配有两个 PTO/PWM 发生器，它们可以产生一个高速脉冲串或者一个脉冲调制波形。一个发生器输出点是 Q0.0，另一个发生器输出点是 Q0.1。当 Q0.0 和 Q0.1 作为高速输出点时，其普通输出点被禁用，而当不作为 PTO/PWM 发生器时，Q0.0 和 Q0.1 可作为普通输出点使用。一般情况下，PTO/PWM 输出负载至少为 10% 的额定负载。

脉冲输出指令（PLS）配合特殊存储器用于配置高速输出功能，PLS 指令格式见表 3-1。

表 3-1　PLS 指令格式

LAD	STL	功　　能
PLS（EN ENO；Q0.X）	PLS　1（或 0）	产生一个高速脉冲串或者一个脉冲调制波形

脉冲串操作（PTO）按照给定的脉冲个数和周期输出一串方波（占空比 50%，如图 3-1 所示。PTO 可以产生单段脉冲串或者多段脉冲串（使用脉冲包络）。可以微秒或毫秒为单位指定脉冲宽度和周期。

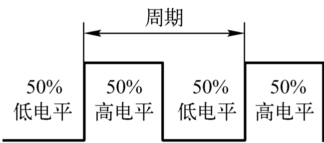


图 3-1　脉冲串输出

PTO 脉冲个数范围为 1～429496295，周期为 10 μs～65 535 μs 或者 2 ms～65535 ms。

2. 与 PLS 指令相关的特殊寄存器的含义

如果要装入新的脉冲数（SMD72 或 SMD82）、脉冲宽度（SMW70 或 SMW80）和周期（SMW68 或 SMW78），应该在执行 PLS 指令前装入这些值和控制寄存器，然后 PLS 指令会从特殊存储器 SM 中读取数据，并按照存储数值控制 PTO/PWM 发生器。这些特殊寄存器分为三大类：PTO/PWM 功能状态字、PTO/PWM 功能控制字和 PTO/PWM 功能寄存器。这些寄存器的含义见表 3-2、表 3-3 和表 3-4。

表 3-2　PTO 控制寄存器的 SM 标志

Q0. 0	Q0. 1	控 制 字 节
SM67. 0	SM77. 0	PTO/PWM 更新周期值（0 = 不更新，1 = 更新周期值）
SM67. 1	SM77. 1	PWM 更新脉冲宽度值（0 = 不更新，1 = 脉冲宽度值）
SM67. 2	SM77. 2	PTO 更新脉冲数（0 = 不更新，1 = 更新脉冲数）
SM67. 3	SM77. 3	PTO/PWM 时间基准选择（0 = 1μs/格，1 = 1ms/格）
SM67. 4	SM77. 4	PWM 更新方法（0 = 异步更新，1 = 同步更新）
SM67. 5	SM77. 5	PTO 操作（0 = 单段操作，1 = 多段操作）
SM67. 6	SM77. 6	PTO/PWM 模式选择（0 = 选择 PTO，1 = 选择 PWM）
SM67. 7	SM77. 7	PTO/PWM 允许（0 = 禁止，1 = 允许）

表 3-3　其他 PTO/PWM 寄存器的 SM 标志

Q0. 0	Q0. 1	控 制 字 节
SMW68	SMW78	PTO/PWM 周期值（范围：2 ~ 65535）
MW70	SMW80	PWM 脉冲宽度值（范围：0 ~ 65535）
SMD72	SMD82	PTO 脉冲计数值（范围：1 ~ 4294967295）
SMB166	SMB176	进行中的段数（仅用在多段 PTO 操作中）
SMW168	SMW178	包络表的起始位置，用从 V0 开始的字节偏移表示（仅用在多段 PTO 操作中）
SMB170	SMB180	线性包络状态字节
SMB171	SMB181	线性包络结果寄存器
SMD172	SMD182	手动模式频率寄存器

表 3-4　PTO/PWM 控制字节参考

控制寄存器（十六进制）	允　许	执行 PLS 指令的结果					
		模式选择	PTO 段操作	时基	脉冲数	脉冲宽度	周期
16#81	Yes	PTO	单段	1 μs/周期			装入
16#84	Yes	PTO	单段	1 μs/周期	装入		
16#85	Yes	PTO	单段	1 μs/周期	装入		装入
16#89	Yes	PTO	单段	1 ms/周期			装入
16#8C	Yes	PTO	单段	1 ms/周期	装入		
16#A0	Yes	PTO	多段	1 ms/周期	装入		装入
16#A8	Yes	PTO	多段	1ms/周期			

使用 PTO/PWM 功能相关的特殊存储器 SM 还有以下几点需要注意。

① 如果要装入新的脉冲数（SMD72 或 SMD82）、脉冲宽度（SMW70 或 SMW80）或者周期（SMW68 或 SMW78），应该在执行 PLS 指令前装入这些数值到控制寄存器。

② 如果要手动终止一个正在进行的 PTO 包络，要把状态字中的用户终止位（SM66. 5 或者 SM76. 5）置 1。

③ PTO 状态字中的空闲位（SM66. 7 或者 SM76. 7）标志着脉冲输出完成。另外，在脉

冲串输出完成时，可以执行一段中断服务程序。如果使用多段操作时，可以在整个包络表完成后执行中断服务程序。

3. S7-200 PLC 的高速输出点控制步进电动机

【例 3-1】某设备上有 1 套步进驱动系统，步进驱动器的型号为 SH-2H042Ma，步进电动机的型号为 17HS111，是两相四线直流 24 V 步进电动机，要求：压下按钮 SB1 时，步进电动机正转，压下按钮 SB2 时停止。请画出 I/O 接线图并编写程序。

方法一：

【解】

（1） 主要软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9；

② 1 台步进电动机的型号为 17HS111；

③ 1 台步进驱动器的型号为 SH-2H042Ma；

④ 1 台 CPU221CN。

（2）步进电动机与步进驱动器的接线

本系统选用的步进电动机是两相四线的步进电动机，其型号是 17HS111，这种型号的步进电动机的出线接线图如图 3-2 所示（图中只画了 1 台电动机）。其含义是：步进电动机的 4 根引出线分别是红色、绿色、黄色和蓝色；其中红色引出线应该与步进驱动器的A + 接线端子相连，绿色引出线应该与步进驱动器的 A - 接线端子相连，黄色引出线应该与步进驱动器的 B + 接线端子相连，蓝色引出线应该与步进驱动器的 B - 接线端子相联。

（3）PLC 与步进电动机、步进驱动器的接线

步进驱动器有共阴和共阳两种接法，这与控制信号有关系，西门子 PLC 输出信号是 +24 V 信号（即 PNP 接法），所以应该采用共阴接法，所谓共阴接法就是步进驱动器的 DIR- 和 CP- 与电源的负极短接，如图 3-2 所示。顺便指出，三菱的 PLC 输出的是低电位信号（即 NPN 接法），因此应该采用共阳接法。

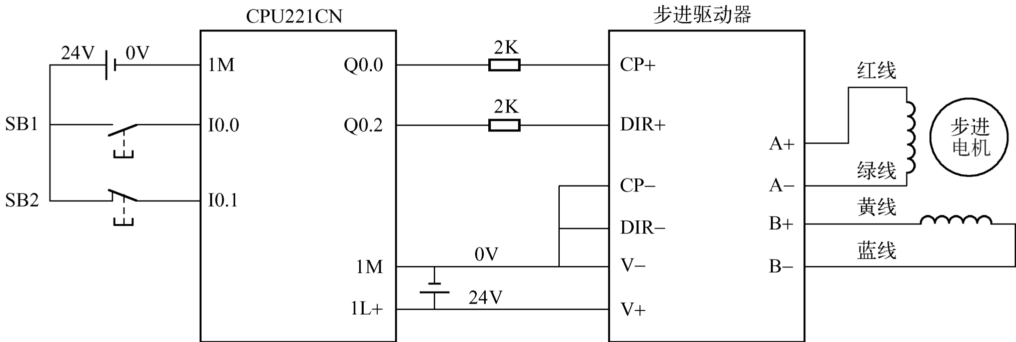


图 3-2　PLC 与驱动器和步进电动机接线图

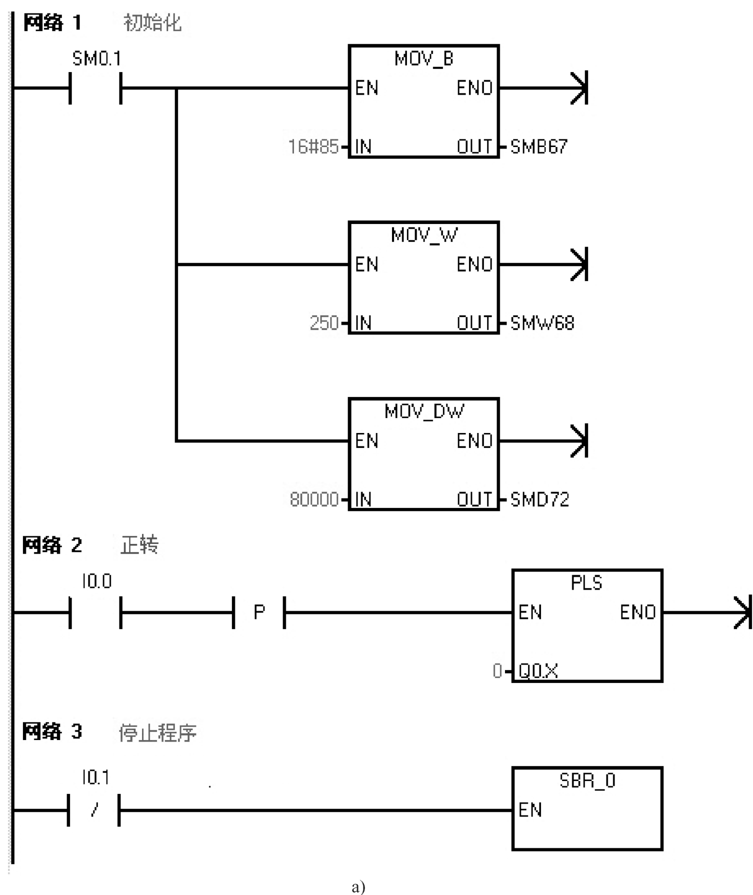
那么 PLC 能否直接与步进驱动器相连接呢？答案是不能。这是因为步进驱动器的控制信号是 +5 V，而西门子 PLC 的输出信号是 +24 V，显然是不匹配的。解决问题的办法就是在 PLC 与步进驱动器之间串联一只 2 kΩ 电阻，起分压作用，因此输入信号近似等于 +5 V。有的资料指出，串联一只 2 kΩ 的电阻是为了将输入电流控制在 10 mA 左右，也就是起限流

作用，在这里电阻的限流或分压作用的含义在本质上是相同的。CP + 和(CP -)是脉冲接线端子，DIR + 和 DIR - 是方向控制信号接线端子。PLC 接线图如图 3-2 所示。有的步进驱动器只能接“共阳接法”，如果使用西门子 S7-200 PLC 控制这种类型的步进驱动器，不能直接连接，必须将 PLC 的输出信号进行反相。另外，读者还要注意，输入端的接线采用是 PNP 接法，因此两只接近开关是 PNP 型，若读者选用的是 NPN 型接近开关，那么接法就不同。

（4）程序编写

编写梯形图程序如图 3-3 所示。

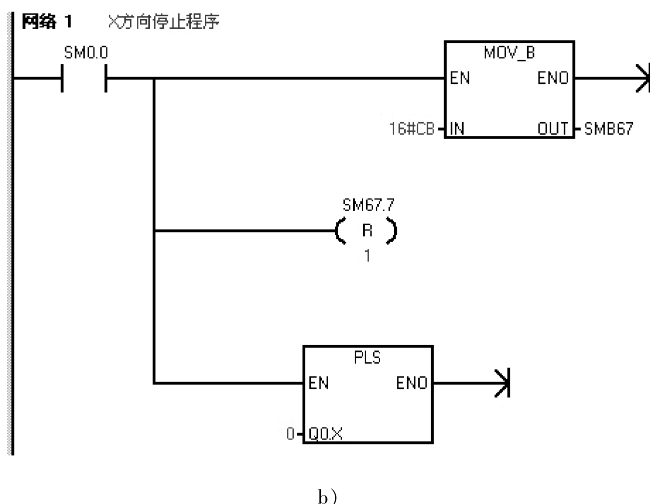
【关键点】 编写这段程序的关键点在于初始化和强制使步进电动机停机而对 SMB67 的设定，其核心在于对 SMB67 寄存器的理解。其中，SMB67 = 16#85 的含义是 PTO 允许、选择 PTO 模式、单段操作、时间基准为微秒、PTO 脉冲更新和 PTO 周期更新，SMB67 = 16#CB 的含义是 PTO 禁止、选择 PTO 模式、单段操作、时间基准为微秒、PTO 脉冲不更新和 PTO 周期不更新。



a)

图 3-3　程序

a）程序—主程序



b）

图 3-3　程序（续）

b）程序—子程序

若读者不想在输出端接分压电阻，那么在 PLC 的 1L + 接线端子上接 DC +5V 也是可行的，但产生的问题是本组其他输出信号都为 DC +5 V，因此读者在设计时要综合考虑利弊，从而进行取舍。

方法二：

对于初学者，大多感觉利用 PLC 的高速输出点对步进电动机进行运动控制比较麻烦，特别是控制字不容易理解。幸好西门子的软件设计师早已经考虑到了这些，STEP7-MicroWIN 软件中提供了位置控制向导，利用位置控制向导，读者很容易编写程序。以下具体介绍这种方法。

（1）激活“位置控制向导”

打开 STEP 7 软件，在主菜单“工具”中选中“位置控制向导”子菜单，并单击之，弹出装置选择界面，如图 3-4 所示。

（2）装置选择

S7-22X 系列 PLC 内部有两个装置可以配置，一个是机载 PTO/PWM 发生器，一个是 EM253 位置模块，位置控制向导允许配置以下两个装置中的任意一个装置。很显然，本例选择“PTO/PWM 发生器”，如图 3-4 的“1”处，再单击“下一步”按钮。

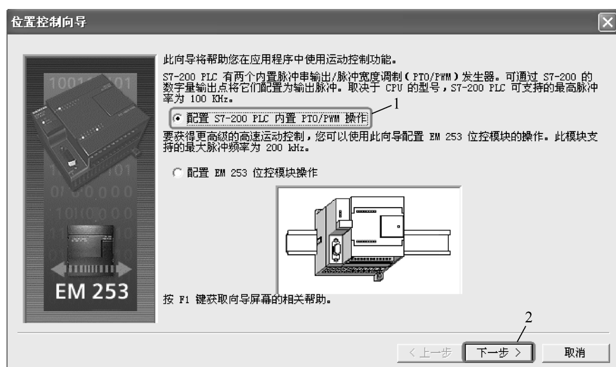


图 3-4　装置选择

（3）指定一个脉冲发生器

S7-22X 系列 PLC 内部有两个脉冲发生器（Q0.0 和 Q0.1）可供选用，本例选用 Q0.0，再单击“下一步”按钮，如图 3-5 所示。

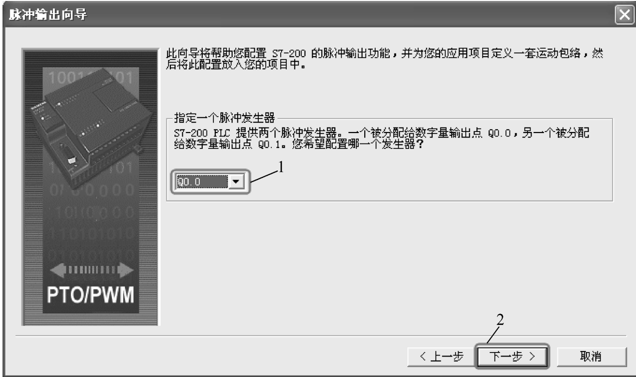


图 3-5　指定一个脉冲发生器

（4）选择 PTO 或 PWM，并选择时间基准

可选择 Q0.0 为脉冲串输出（PTO）或脉冲宽度调制（PWM）配置脉冲发生器，对于本例，控制步进电动机，应该选择“脉冲串输出（PTO）”，再单击“下一步”按钮，如图 3-6 所示。

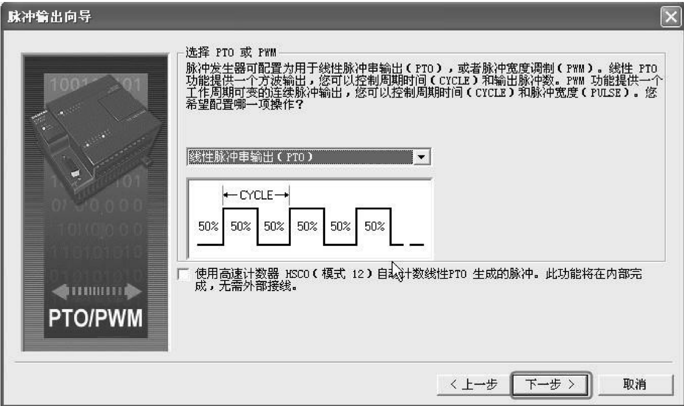


图 3-6　选择 PTO 或 PWM 模式

（5）指定电动机速度

MAX_SPEED：在电动机扭矩能力范围内输入应用所需的最佳工作速度。驱动负载所需的转矩由摩擦力、惯性和加速/减速时间决定。位置控制向导会计算和显示由位控模块为指定的 MAX_SPEED 所能够控制的最低速度。

SS_SPEED：在电动机的能力范围内输入一个数值，以低速驱动负载。如果 SS_SPEED 数值过低，电动机和负载可能会在运动开始和结束时颤动或跳动。如果 SS_SPEED 数值过高，电动机可能在启动时失步，并且在尝试停止时，负载可能使电动机不能立即停止而多行走一段。

如图 3-7 所示，在“1”和“3”处输入最大速度、起动和停止速度，再单击“下一步”按钮。

（6）设置加速和减速时间

ACCEL_TIME（加速时间）：电动机从 SS_SPEED 加速至 MAX_SPEED 所需要的时间，默认值 = 1000 ms(1 s)，本例选默认值，如图 3-8 所示的“1”处。

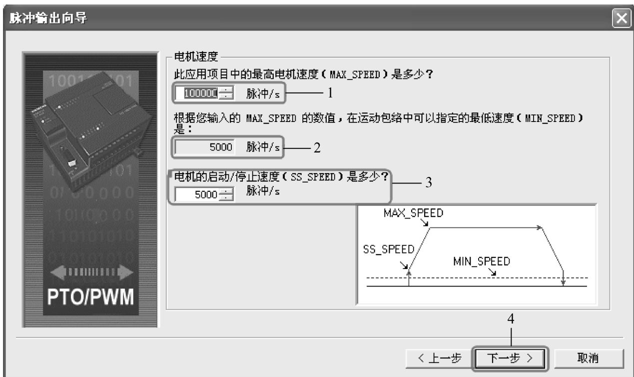


图 3-7　指定电动机速度

DECEL_TIME（减速时间）：电动机从 MAX_SPEED 减速至 SS_SPEED 所需要的时间，默认值 = 1000 ms(1 s)，本例选默认值，如图 3-8 所示的“2”处。再单击“下一步”按钮。

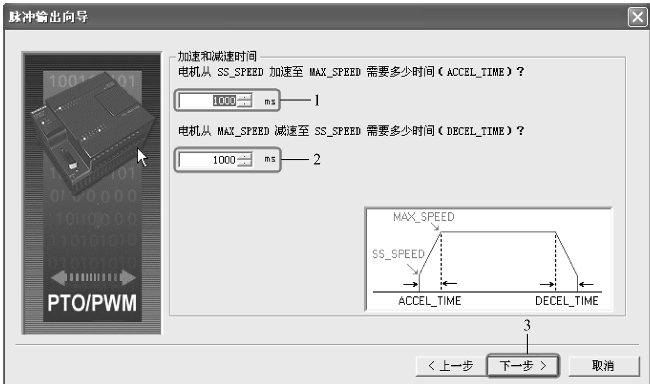


图 3-8　设置加速和减速时间

（7）定义每个已配置的轮廓

先单击如图 3-9 所示中的“新包络”，弹出“定义每个已配置的轮廓（2）”，如图 3-10



图 3-9　定义每个已配置的轮廓（1）

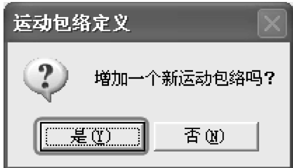


图 3-10　定义每个已配置的轮廓（2）

所示，单击“确定”按钮，弹出“定义每个已配置的轮廓（3）”，如图 3-11 所示。

先选择“操作模式”，如图 3-11 所示的“1”处，根据操作模式（相对位置或单速连续旋转）配置此轮廓。再在“2”处和“3”处输入目标速度和结束位置脉冲，接着单击“绘制包络”按钮，包络线生成，最后单击“确定”按钮。

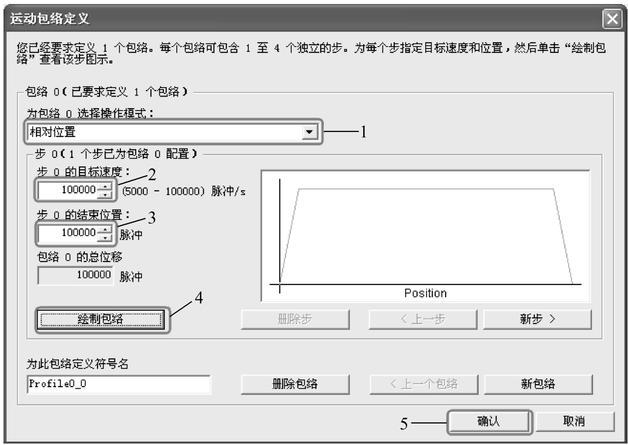


图 3-11　定义每个已配置的轮廓（3）

（8）设定轮廓数据的起始 V 内存地址

PTO 向导在 V 内存中以受保护的数据块页形式生成 PTO 轮廓模板，在编写程序时不能使用 PTO 向导已经使用的地址，此地址段可以系统推荐，也可以人为分配，人为分配的好处是 PTO 向导占用的地址段可以避开读者习惯使用的地址段。设定轮廓数据的起始 V 内存地址如图 3-12 所示，本例设置为“VB1000”，再单击“下一步”按钮。

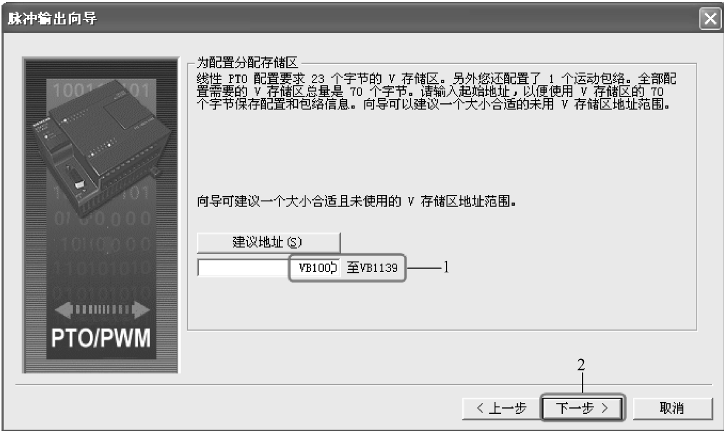


图 3-12　设定轮廓数据的起始 V 内存地址

（9）生成程序代码

最后单击“确定”按钮可成生子程序，如图 3-13 所示。至此，PTO 向导的设置工作已经完成，后续工作就是在编程时使用这些生成的子程序。

（10）子程序简介

PTOx_CTRL 子程序：（控制）启用和初始化与步进电动机或伺服电动机合用的 PTO 输出，在程序中只使用一次，并且确定在每次扫描时得到执行。始终用 SM0.0 作为 EN 的输入。PTOx_CTRL 子程序的参数见表 3-5。

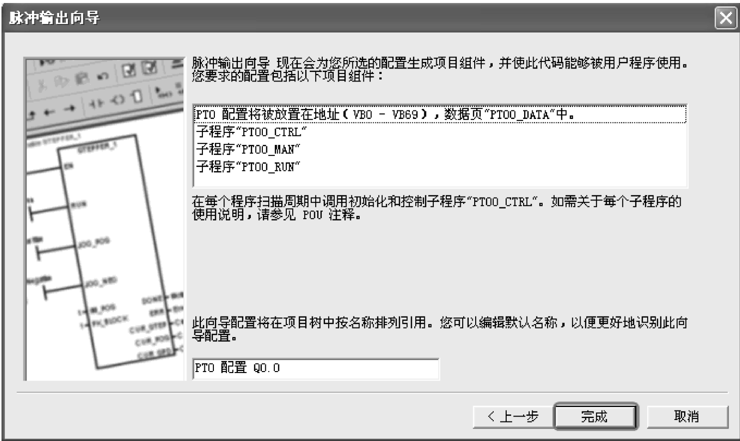


图 3-13　生成程序代码

表 3-5　PTOx_CTRL 子程序的参数表

子　程　序	各输入/输出参数的含义	数 据 类 型
PTOx_CTRL EN I_STOP D_STOP Done Error C_Pos	EN：使能	BOOL
	I_STOP：立即停止，当此输入为低时，PTO 功能会正常工作。当此输入变为高时，PTO 立即终止脉冲的发出	BOOL
	D_STOP：表示减速停止，当此输入为低时，PTO 功能会正常工作。当此输入变为高时，PTO 会产生将电动机减速至停止的脉冲串	BOOL
	Done：当完成任何一个子程序时，Done 参数会开启	BOOL
	C_Pos：如果 PTO 向导的 HSC 计数器功能已启用，C_Pos 参数包含用脉冲数目表示的模块	DINT
	Error：出错时返回错误代码	BYTE

PTOx_RUN 子程序（运行轮廓）：命令 PLC 执行存储于配置/轮廓表的特定轮廓中的运动操作。开启 EN 位会启用此子程序。PTOx_RUN 子程序的参数见表 3-6。

表 3-6　PTOx_RUN 子程序的参数表

子程序	各输入/输出参数的含义	数据类型
PTOx_RUN EN START Profile Abort Done Error C_Profile C_Step C_Pos	EN：使能，开启 EN 位会启用此子程序	BOOL
	START：发起轮廓的执行。对于在 START 参数已开启且 PTO 当前不活动时的每次扫描，此子程序会激活 PTO。为了确保仅发送一个命令，应以脉冲方式开启 START 参数	BOOL
	Profile：运动轮廓指定的编号或符号名	BYTE
	Abort：命令位控模块停止当前轮廓并减速至电动机停止	BOOL
	C_Profile：包含位控模块当前执行的轮廓	BYTE
	C_Step：包含目前正在执行的轮廓步骤	BYTE
	Done：当完成任何一个子程序时，Done 参数会开启	BOOL
	C_Pos：如果 PTO 向导的 HSC 计数器功能已启用，C_Pos 参数包含用脉冲数目表示的模块	DINT
	Error：出错时返回错误代码	BYTE

PTOx_MAN 子程序（手动模式）：将 PTO 输出置于手动模式。允许电动机起动、停止和按不同的速度运行。当 PTOx_MAN 子程序已启用时，任何其他 PTO 子程序都无法执行。PTOx_MAN 子程序的参数见表 3-7。

表 3-7　PTOx_MAN 子程序的参数表

子　程　序	各输入/输出参数的含义	数 据 类 型
PTOx _CTRL EN I_STOP D_STOP Done Error C_Pos	EN：使能	BOOL
	RUN：运行/停止参数，命令 PTO 加速至指定速度（Speed（速度）参数）	BOOL
	Speed：在电动机运行中更改 Speed 参数的数值。停用 RUN 参数命令 PTO 减速至电动机停止。速度是一个用每秒脉冲数计算的值	DINT
	C_Pos：如果 PTO 向导的 HSC 计数器功能已启用，C_Pos 参数包含用脉冲数目表示的模块	DINT
	Error：出错时返回错误代码	BYTE

（11）编写程序

使用了位置控制向导，编写程序就比较简单，但必须搞清楚三个子程序的使用方法，这是编写程序的关键，梯形图如图 3-14 所示。

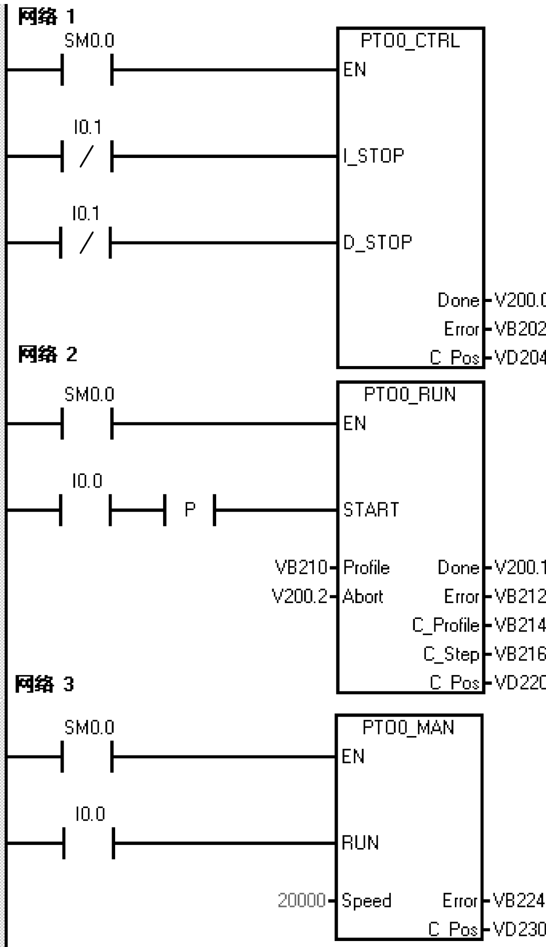


图 3-14　梯形图

【关键点】利用指令向导编写程序，其程序简洁、容易编写，特别是控制步进电动机加速启动和减速停止，显得非常方便，且能很好地避开步进电动机失步。

3.1.2 使用定位模块控制步进电动机

既然利用 S7-200 系列 PLC 的高速输出点可以控制步进电动机，那么为什么还要使用定位模块呢？原因在于：

① S7-200 系列 PLC 要用其高速输出点控制步进电动机，必须具备两个条件，一是 PLC 必须要有高速输出点，二是输出点必须是晶体管输出。

② PLC 集成的高速输出点的频率不够高，以 CPU226 为例，其最高频率只有 20 kHz，其使用范围有限，而定位模块 EM253 的最高频率达到 200 kHz。

③ 从示波器观测波形就可以看出，定位模块高速脉冲的波形品质明显优于 PLC 内部集成的高速输出点，因此对于要求较高的控制系统必须使用定位模块。

④ PLC 集成的高速输出点的功能也不够强大。

1. 定位模块 EM253 简介

相对集成在 PLC 的高速输出点，定位模块 EM253 的功能强大，定位精度高，使用更加方便，具体特点如下：

① 用于位置开环控制回路中，不用于闭环位置模式。用于 1.1 版本以上的 CPU22X 的扩展模块，但由于 CPU221 自身不能带扩展模块，所以 EM253 不能作为 CPU221 的扩展模块。

② 可提供 12 Hz～200 kHz 的脉冲频率。

③ 支持直线和 S 曲线。

④ 提供了螺距补偿功能。

⑤ 有绝对式、手动式和相对式等多种工作模式。

⑥ 有 4 种回原点的方式。



图 3-15 EM253 模块外形图

EM253 定位模块的外形如图 3-15 所示。其各接线端子的定义见表 3-8。

表 3-8 接线端子的定义

序 号	接线端子	功 能	序 号	接线端子	功 能
1	L+	DC +24 V	10	LMT-	负向硬限位
2	M	0 V	11	4M	
3	1M	输入 stop 信号	12	LMT+	正向硬限位
4	STOP		11	4M	
5	2M	参考点切换输入	13	P0+/P0-	P0 输出（脉冲或方向）
6	RPS		14	P1+/P1-	P1 输出（脉冲或方向）
7	3M	零脉冲输入	15	DIS	使能控制
8	ZP		16	CLR	清除步进驱动器的脉冲计数寄存器
9	T1	与 P0、P1、DIS、CLR 联合使用			

EM253 定位模块指示灯的状态见表 3-9。

表 3-9　EM253 定位模块的接线端子或指示灯

序号	输入/输出（对于 EM253）	LED/接线端子	LED 颜色	功 能 描 述
1	-	MF	红色	检测到致命的故障时接通
2	-	MG	绿色	无故障时接通，检测到故障时以 1 Hz 闪烁
3	-	PWR	绿色	L + 和 M 接上 DC 24 V 供电时接通
4	输入	STOP	绿色	输入 stop 接通时亮
5	输入	RPS	绿色	参考点切换输入接通时亮
6	输入	ZP	绿色	零脉冲输入接通时亮
7	输入	LMT -	绿色	负向限位接通时亮
8	输入	LMT +	绿色	正向限位接通时亮
9	输出	P0	绿色	P0 输出触发时亮
10	输出	P1	绿色	P1 输出触发时亮
11	输出	DIS	绿色	DIS 输出时亮
12	输出	CLR	绿色	清除偏差计数输出激活时亮

以下用一个例子来讲解 EM253 模块的使用。

【例 3-2】 某设备上有一套步进驱动系统，步进驱动器的型号为 SH-2H042Ma，步进电动机的型号为 17HS111，是两相四线直流 24 V 步进电动机，要求：压下按钮 SB1 时，步进电动机带动 X 方向运动，步进电动机上有两个限位开关。请画出 I/O 接线图并编写程序。

2. 软硬件的配置和接线图

（1）主要软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0。

② 1 台步进电动机，型号为 17HS111。

③ 1 台步进驱动器，型号为 SH-2H042Ma。

④ 1 台 CPU226CN。

⑤ 1 台 EM253 模块。

（2）步进电动机与步进驱动器的接线

本系统选用的步进电动机是两相四线的步进电动机，其型号是 17HS111，这种型号的步进电动机的出线接线图如图 3-16 所示。其含义是：步进电动机的 4 根引出线分别是红色、绿色、黄色和蓝色；其中红色引出线应该与步进驱动器的 A + 接线端子相连，绿色引出线应该与步进驱动器的 A - 接线端子相连，黄色引出线应该与步进驱动器的 B + 接线端子相连，蓝色引出线应该与步进驱动器的 B - 接线端子相联。

（3）EM253 定位模块与步进驱动器的接线

步进驱动器的脉冲输入端子与定位模块的 P0 脉冲输出端子相连，步进驱动器的方向控制端子与 P1 端子相连，而步进驱动器的 V - 端子和 EM253 的 M 端子相连，达到共地的目的。由于本驱动器没有使能端子所以 EM253 的 DIS 端子不接线。

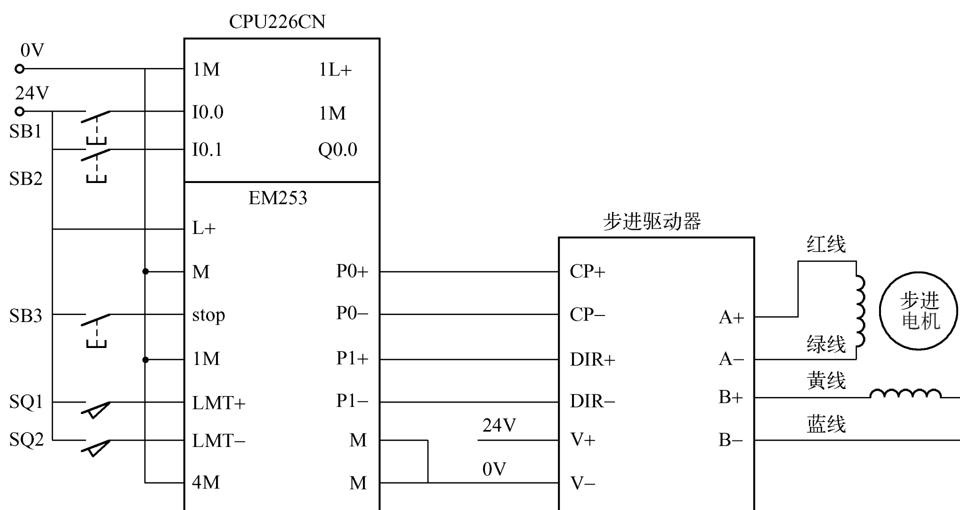


图 3-16　PLC 与驱动器和步进电动机接线图

3. 系统的硬件组态

（1）打开“位置控制向导”配置工具

启动软件 STEP7-MicroWIN V4.0，单击导航条中的“工具”按钮，再单击“位置控制向导”按钮，弹出“位置控制向导”界面，如图 3-17 所示，也可以通过单击主菜单下的“位置控制向导”子菜单实现。

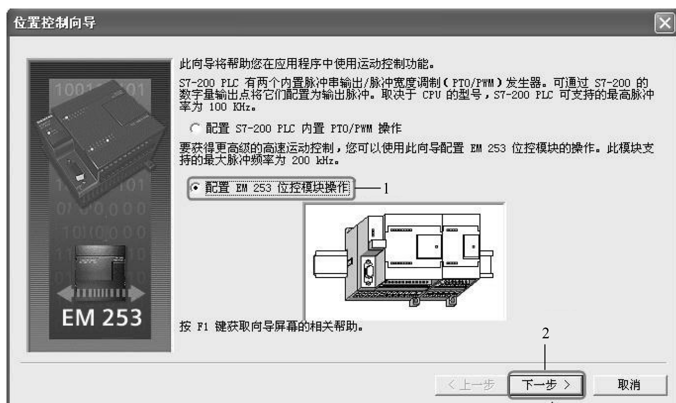


图 3-17　位置控制向导

（2）选择位置配置模式

先选定“配置 EM253 的位置模块操作”，再单击“下一步”按钮。

（3）读取定位模块 EM253 的逻辑位置

先设定模块的位置，由于只有一个扩展模块，所以模块位置为 0，再单击“读取模块”按钮，弹出位置“4”处的信息，再单击“下一步”按钮，读取定位模块 EM253 的逻辑位置如图 3-18 所示。

（4）输入系统的测量单位

先在标记“1”处输入电动机转一周应输出的脉冲数，再在标记“2”处输入基准测量

单位，本例为“mm”，再在标记“3”处输入电动机旋转一周产生多少“mm”的运动，这个数值与机械结构有关，最后单击“下一步”按钮，如图 3-19 所示。



图 3-18　读取定位模块 EM253 的逻辑位置

（5）定义模块输入信号 LMT +、LMT 和 STP 的功能

本例选择的都是“减速停止”，当然也可根据实际需要选择“立即停止”或者“不停止”选项，如图 3-20 所示。

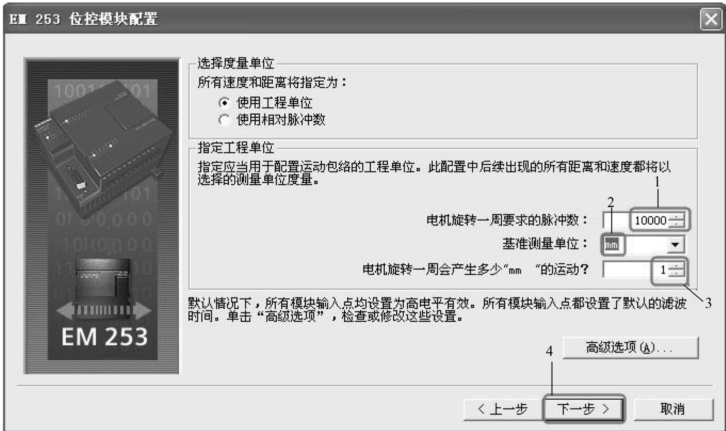


图 3-19　输入系统的测量单位



图 3-20　定义模块输入信号 LMT +、LMT 和 STP 的功能

（6）定义电动机速度

根据需要定义电动机的最大速度、最低速度以及启动/停止速度，再单击“下一步”按钮，如图 3-21 所示。

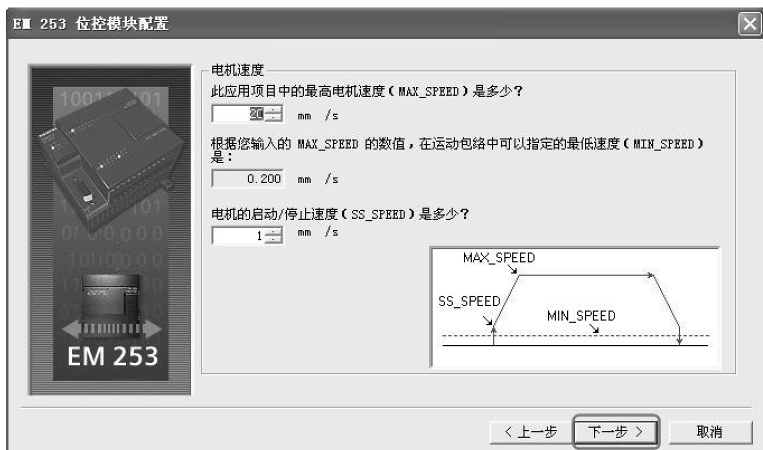


图 3-21　定义电动机速度

（7）定义手动操作的参数

设定点动时，电动机的速度，再单击“下一步”按钮，如图 3-22 所示。

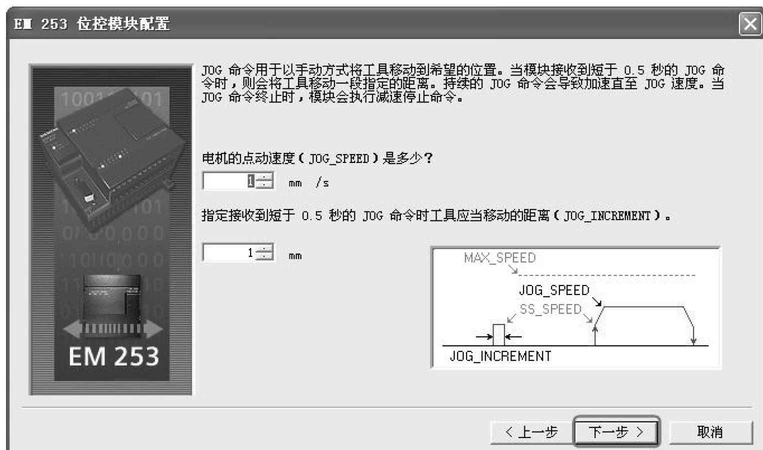


图 3-22　定义手动操作的参数

（8）加减速参数设定

加速时间就是从最低速度加速到最大速度所用的时间，设置在标记“1”处，减速时间就是从最高速度加速到最低速度所用的时间，设置在标记“2”处，再单击“下一步”按钮，如图 3-23 所示。

（9）设置运动位置拐点参数

指定补偿时间，若不补偿则输入 0，再单击“下一步”按钮，如图 3-24 所示。

（10）设置模块寻找原点位置参数

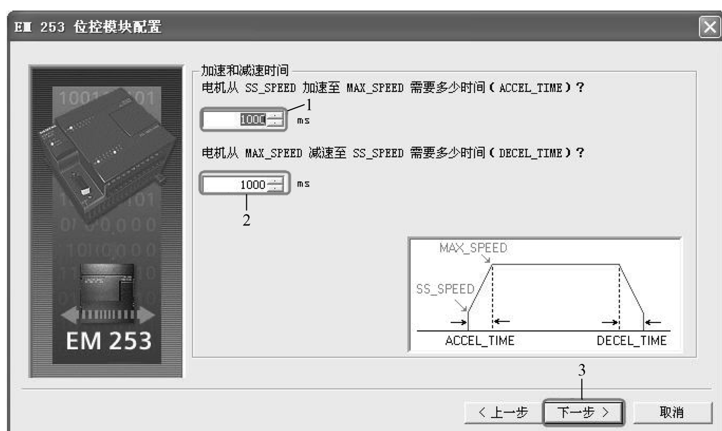


图 3-23　加减速参数设定

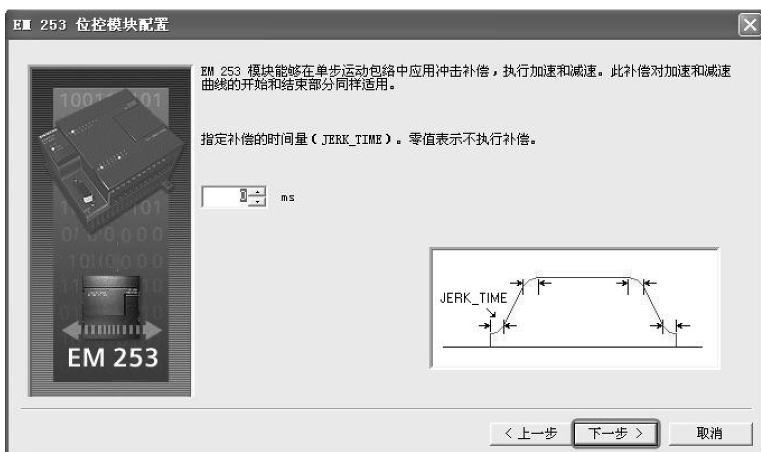


图 3-24　设置运动位置拐点参数

先选取标记“1”处的选项，再单击“下一步”按钮，如图 3-25、图 3-26 和图 3-27 所示。



图 3-25　设置模块寻找原点位置参数（1）



图 3-26　设置模块寻找原点位置参数（2）

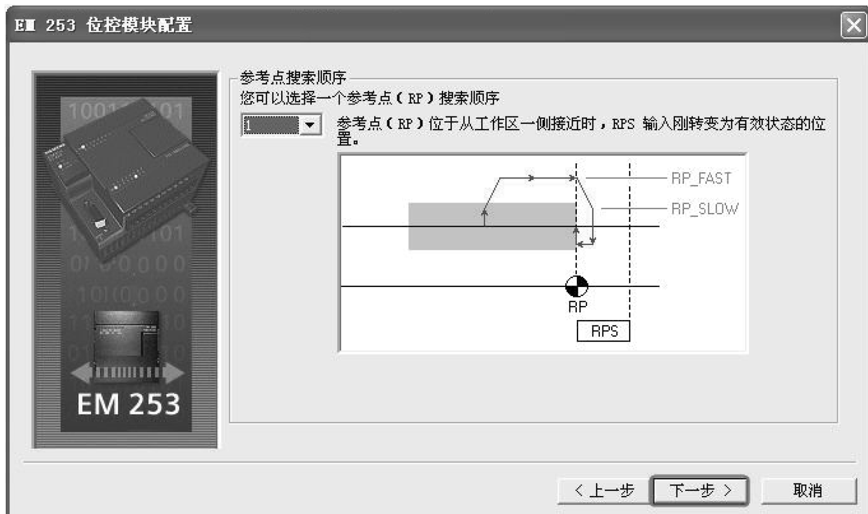


图 3-27　设置模块寻找原点位置参数（3）

（11）设定定位模块 EM253 的运动轨迹包络

定位模块 EM253 的运动轨迹包络设定如图 3-28 所示。

（12）分配地址

先单击“建议地址”按钮，再单击“下一步”按钮，如图 3-29 所示。

（13）完成组态

单击“完成”按钮，结束组态，如图 3-30 所示。

4. 编写程序

（1）子程序简介

完成以上的配置后，STEP7-Micro/WIN V4.0 自动生成一系列子程序，以下重点介绍两个，即 POSx_CTRL 和 POSx_GOTO。

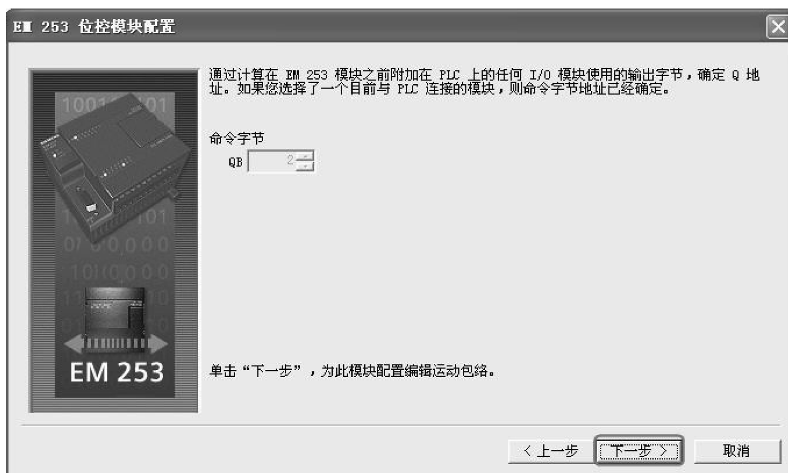


图 3-28　设定定位模块 EM253 的运动轨迹包络



图 3-29　分配地址

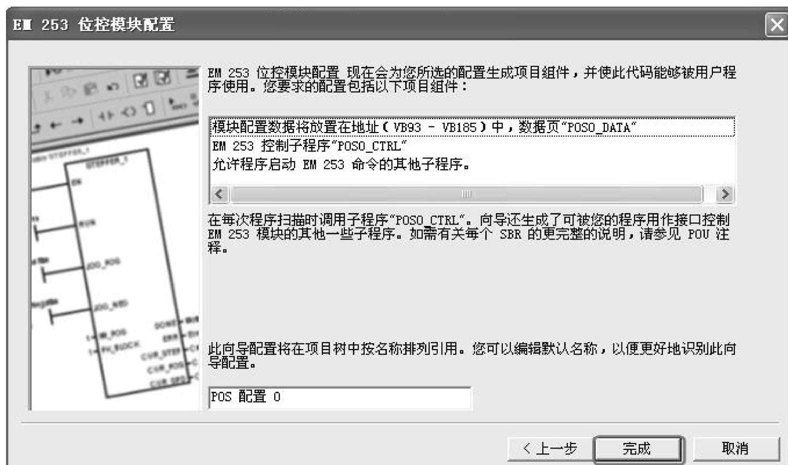


图 3-30　完成组态

POSx_CTRL 子程序（控制）启用和初始化位控模块，方法是自动命令位控模块每次 S7-200 更改为 RUN 模式时，载入配置/轮廓表。在项目中仅限使用一次本子程序，并确保程序在每次扫描时呼叫本子程序。要将 SM0.0（始终开启）用作 EN 参数的输入。MOD_EN 参数必须开启，才能启用其他位置子程序向位控模块发送命令。如果 MOD_EN 参数关闭，位控模块会异常中止所有正在执行的命令。POSx_CTRL 子程序的输出参数提供位控模块的当前状态。当位控模块完成任何一个子程序时，Done 参数会开启。Error 参数包含本子程序的结果。该子程序各输入/输出参数含义见表 3-10。

表 3-10　POSx_CTRL 子程序的参数表

子　程　序	各输入/输出参数的含义	数 据 类 型
POS0_CTRL EN Done Error MOD_~　C_Pos C_Spe~ C_Dir	EN：使能	BOOL
	MOD_EN：MOD_EN 参数必须开启，才能启用其他位置子程序向位控模块发送命令	BOOL
	C_Dir：表示电动机的当前方向	BOOL
	C_Speed：提供模块的当前速度	DINT、REAL
	C_Pos：模块的当前位置	DINT、REAL
	Done：当位控模块完成任何一个子程序时，Done 参数会开启	BOOL
	Error：出错时返回错误代码	BYTE

POSx_GOTO 子程序命令位控模块进入所需的位置，开启 EN 位会启用此子程序。在“完成”位发出子程序执行已经完成的信号前，应确定 EN 位保持开启。开启 START 参数向位控模块发出一个 GOTO 命令。对于在 START 参数开启，且位控模块当前不繁忙时执行的每次扫描，该子程序向位控模块发送一个 GOTO 命令。为了确保仅发送了一个 GOTO 命令，应使用边缘探测元素用脉冲方式开启 START 参数。Pos 参数包含一个数值，指示移动的位置（绝对移动）或移动的距离（相对移动）。根据所选的测量单位，该数值是脉冲（DINT）或工程单位（REAL）数目。Speed 参数确定该移动的最高速度。其各输入/输出参数见表 3-11。

表 3-11　POSx_GOTO 子程序的参数表

子　程　序	各输入/输出参数的含义	数 据 类 型
POS0_CTRL EN Done Error MOD_~　C_Pos C_Spe~ C_Dir	EN：使能	BOOL
	START：开启 START 参数向位控模块发出一个 GOTO 命令	BOOL
	Pos：指示移动的位置（绝对移动）或移动的距离（相对移动）	BOOL
	C_Speed：提供模块的当前速度	DINT、REAL
	C_Pos：模块的当前位置	DINT、REAL
	Done：当位控模块完成本子程序时，Done 参数开启	BOOL
	Mode：移动的类型。0 – 绝对位置，1 – 相对位置，2 – 单速连续正向旋转，3 – 单速连续负向旋转	BYTE
	Error：出错时返回错误代码	BYTE

（2）程序编写

编写如图 3-31 所示的程序，将其下载到 PLC，并运行程序，当合上 SB1 时，步进电动机运行，当合上 SB2 或者 SB3 时，步进电动机停止，当碰到硬限位开关 SQ1 或者 SQ2 时，步进电动机也停止运行。

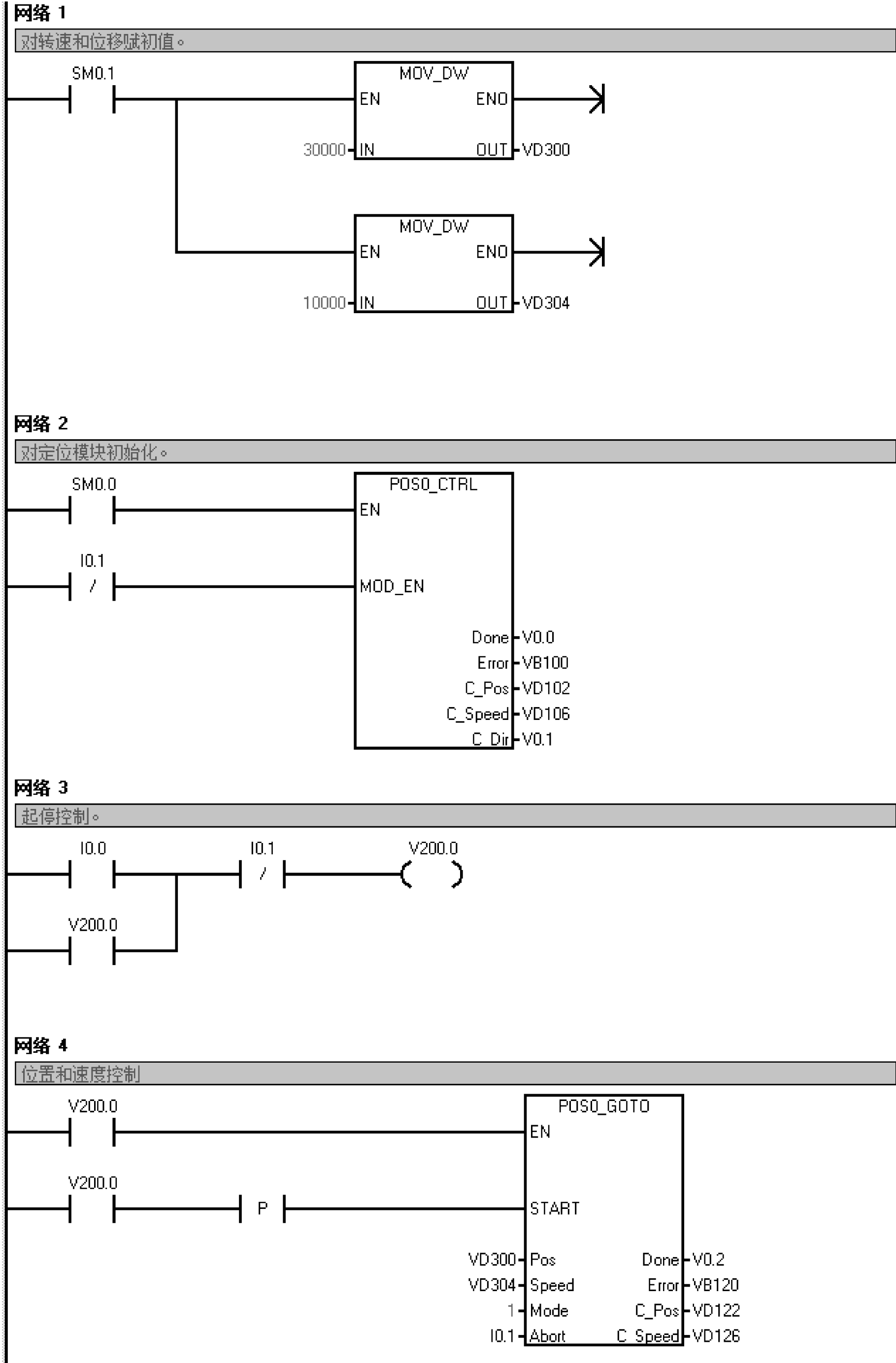


图 3-31　程序

【关键点】首先硬件系统的接线要正确，再者要注意组态正确。EM253 用于开环控制，含义是 EM253 不能接受反馈信号（如光电编码器的信号），并非指整个控制系统就是开环，若 EM253 与伺服系统连接时，伺服驱动器与伺服电动机构成自闭环系统，也可以说这个控制系统是闭环的。

3.1.3 S7-200 PLC 控制步进电动机的调速

对于 S7-200 PLC，脉冲周期存在特殊寄存器 SMW72 中，因此要改变步进电动机的转速，必须改变 SMW72 中的脉冲频率。那么是不是只要改变了 SMW72 中的脉冲频率，步进电动机的转速就会随之改变呢？当然不是，因为步进电动机的转速改变，除了改变 SMW72 中的脉冲频率外，还必须是 PLC 把所有的脉冲发送完成才可以改变。因此，为了使步进电动机的转速立即改变，在改变 SMW72 中的脉冲频率之前，必须先将步进电动机停止，这是至关重要的。以下用一个例子讲解步进电动机的调速。

【例 3-3】已知步进电动机的步距角是 1.8°，默认情况细分为 4，默认转速为 375 r/min，转速的设定在触摸屏中进行，驱动器的细分修改后，触摸屏中的 VW2 也要随之修改。接线图如图 3-2 所示。

【解】

本例的默认转速 375 r/min 存放在 VW0 中，细分数存放在 VW2 中，新的转速存放在 VW40 中。细分为 4，则步进电动机的转速实际降低到原来的四分之一。程序如图 3-32 所示。

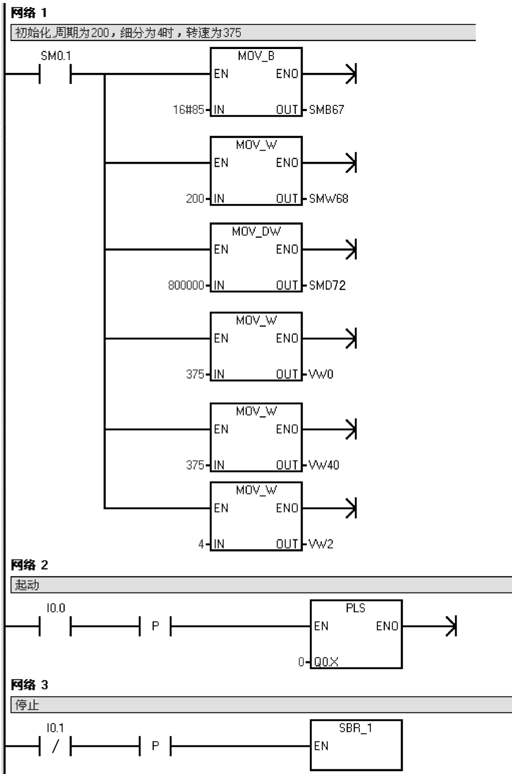
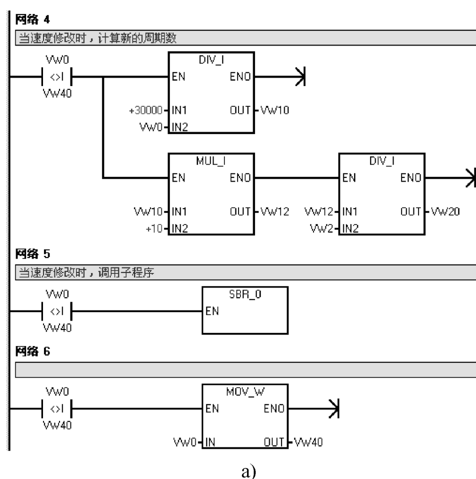
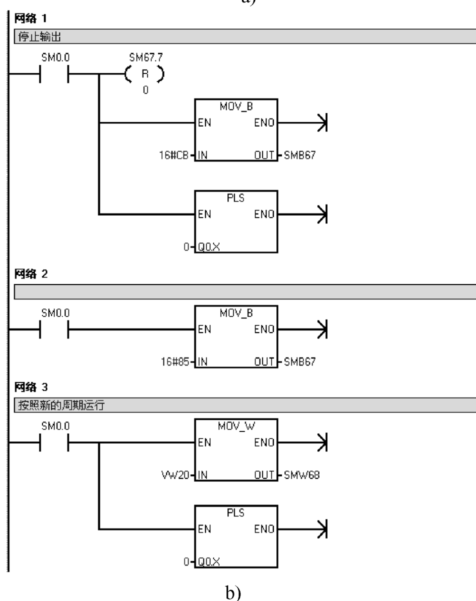


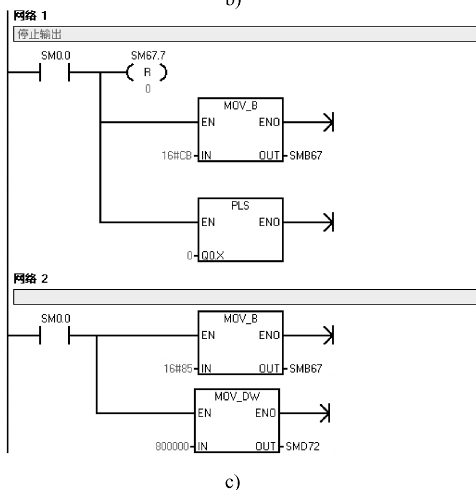
图 3-32 程序



a)



b)



c)

图 3-32　程序（续）

a) 主程序　b）子程序 - SBR_0　c）子程序 - SBR_1

3.1.4 步进电动机的正反转

1. 步进电动机的正反转的原理

如图 3-2 所示，当 Q0.2 为高电平时步进电动机反转，当 Q0.2 为低电平时步进电动机正转，深层原理在此不做探讨。

2. 用西门子 S7-200 PLC 控制步进电动机实现自动正反转

如果用按钮或者限位开关等控制步进电动机的正反转当然是很容易的，这在前面已经讲解过，但如果要求步进电动机自动实现正反转就比较麻烦了，下面用一个实例讲解。

【例 3-4】 已知步进电动机的步距角是 1.8°，转速为 500 r/min，要求步进电动机正转 3 圈后，再反转 3 圈，如此往复，请编写程序。

【解】

$T=10^6\times\dfrac{60}{500\times\dfrac{360°}{1.8°}}=600\ \mu s$，所以设定 SMW68 为 600。

程序如图 3-33 所示。

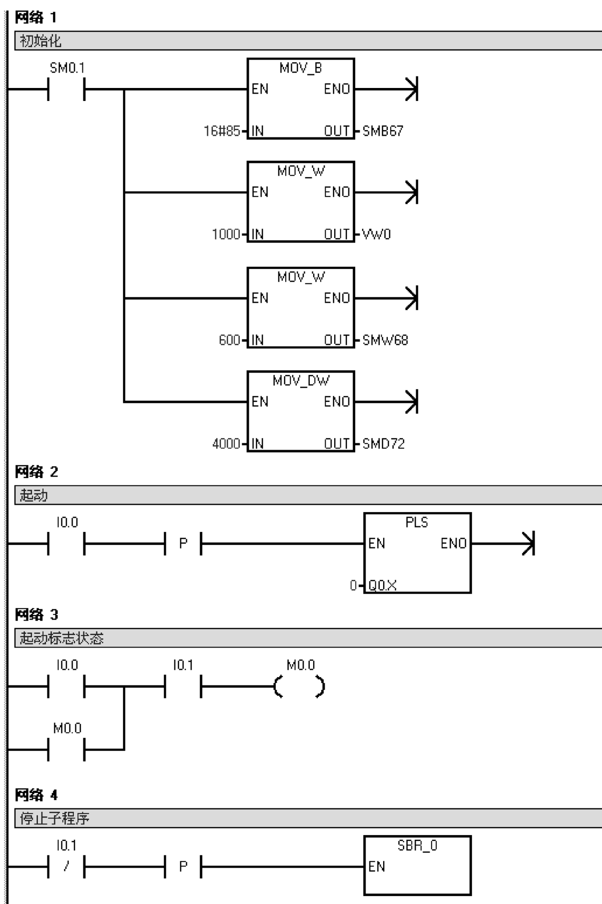
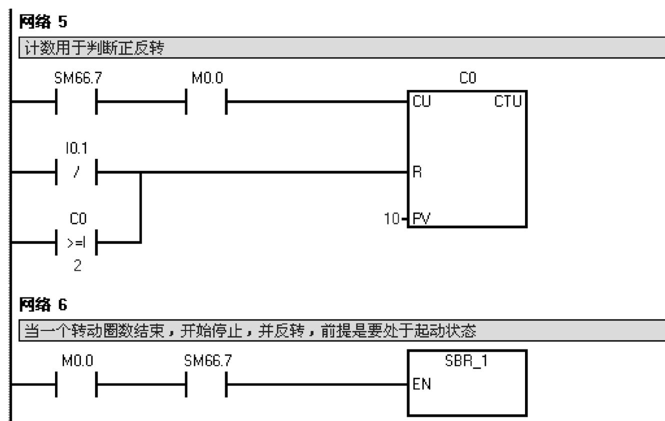
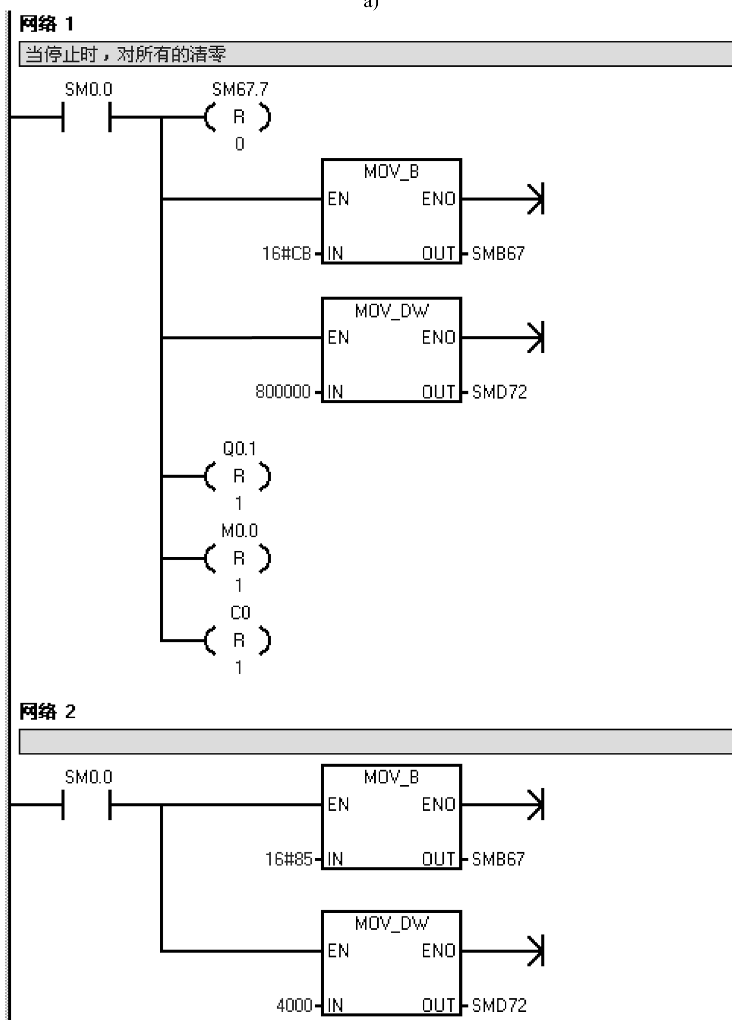


图 3-33 程序



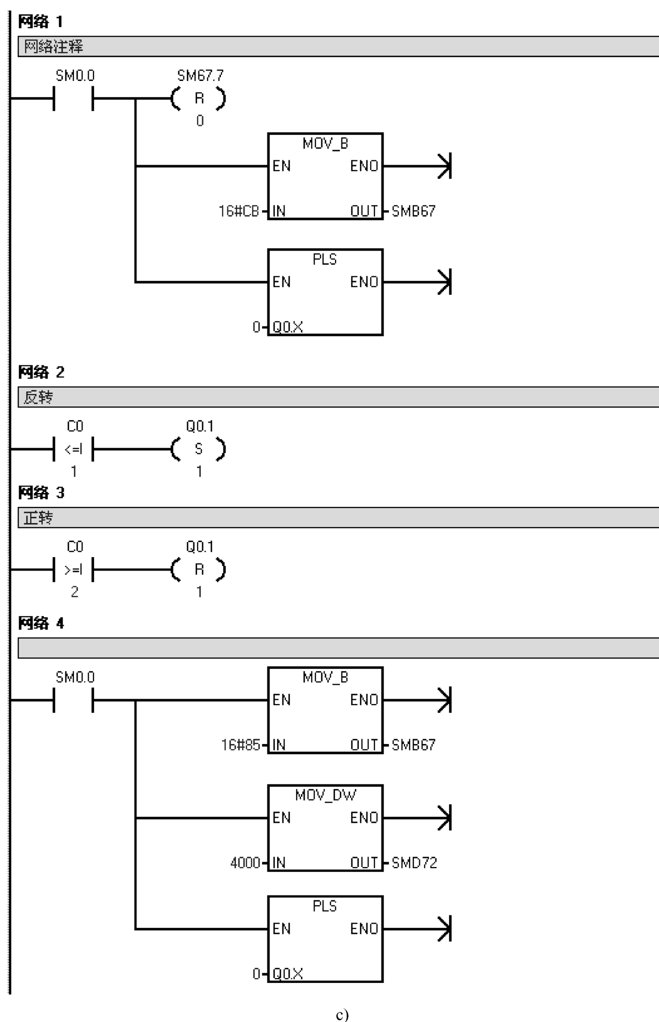
a)



b)

图 3-33　程序（续）

a）主程序　b）子程序 - SBR_0



c)

图 3-33　程序（续）
c）子程序 - SBR_1

3.2　PLC 的伺服控制

3.2.1　直接使用 PLC 的高速输出点控制三菱伺服系统

在前面的章节中介绍了直接使用 PLC 的高速输出点控制步进电动机，其实直接使用 PLC 的高速输出点控制伺服电动机的方法与之类似，只不过后者略微复杂一些，下面将用一个例子介绍具体的方法。

【例 3-5】某设备上有一套伺服驱动系统，伺服驱动器的型号为 MR-E-A，伺服电动机的型号为 HF-KE13W1-S100，是三相交流同步伺服电动机，要求：压下按钮 SB1 时，伺服电动机带动系统 *X* 方向移动，压下按钮 SB2 时，伺服电动机带动系统 *X* 负方向移动，碰到 SQ2 时停止，当压下 SB3 和 SB4，伺服系统停机。请画出 I/O 接线图并编写程序。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 台伺服电动机，型号为 HF-KE13W1-S100。

③ 1 台伺服驱动器，型号为 MR-E-A。

④ 1 台 S7-224XPsi PLC。

2. 伺服电动机与伺服驱动器的接线

伺服系统选用的是三菱 MR 系列，伺服电动机和伺服驱动器的连线比较简单，伺服电动机后面的编码器与伺服驱动器的连线是由三菱公司提供的专用电缆，伺服驱动器端的接口是 CN2，这根电缆一般不会接错。伺服电动机的电源线对应连接到伺服驱动器的接线端子上，接线图如图 3-34 所示。

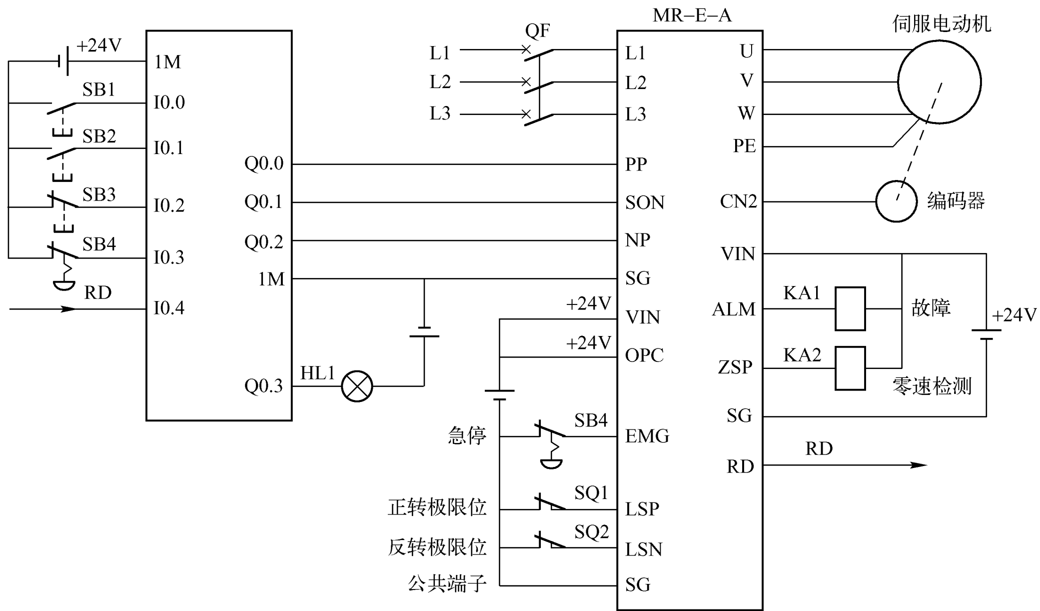


图 3-34 PLC 的高速输出点控制伺服电动机

3. PLC 伺服驱动器的接线

本伺服驱动器的供电电源可以是三相交流 230 V，也可以是单相交流 230 V，本例采用单相交流 230 V 供电，伺服驱动器的供电接线端子排是 CNP1。PLC 的高速输出点与伺服的 PP 端子连接，PLC 的输出和伺服驱动器的输入都是 NPN 型，因此是匹配的。PLC 的 1M 必须和伺服驱动器的 SG 连接，达到共地的目的。

【关键点】 连线时，务必注意 PLC 与伺服驱动器必须共地，否则不能形成回路；此外，三菱的伺服驱动器只能接受 NPN 信号，因此在选择 PLC 时，要注意选用 NPN 输出的 PLC，西门子的 S7-200 PLC 目前只有一款（CPU 224XPsi）是 NPN 输出。若读者一定要选用 PNP 输出 PLC，则需要将信号进行转换，通常处理信号比较麻烦而且效果要差一些。

4. 伺服电动机的参数设定

用 PLC 的高速输出点控制伺服电动机除了接线比用 PLC 的高速输出点控制步进电动机复杂外，后者不需要设置参数（细分的设置除外），而要伺服系统正常运行，必须对伺服系统进行必要的参数设置。参数设置如下：

① P0 = 0000，含义是位置控制，不进行再生制动。

② P3 = 100，含义是齿轮比的分子。

③ P4 = 1，含义是齿轮比的分母。

④ P41 = 0，含义是伺服 ON、正行程限位和反行程限位都通过外部信号输入。

虽然伺服驱动器的参数很多，但对于简单的应用，只需要调整以上几个参数就足够了。

【关键点】 设置完成以上参数后，不要忘记保存参数，伺服驱动器断电后，以上设置才起作用。此外，有的初学者编写程序时输入的脉冲数较少，而且齿轮比 P3/P4 又很小，发现系统运行后，伺服电动机并未转动，从而不知所措，其实伺服电动机已经旋转，只不过肉眼没有发现其转动，读者只要把输入的脉冲数增加到足够大，将齿轮比调大一些，就能发现伺服电动机的旋转。

5. 控制程序的编写

用 PLC 的高速输出点控制伺服电动机的程序与用 PLC 的高速输出点控制步进电动机的程序类似，这里不作过多的解释，其程序如图 3-35 所示。

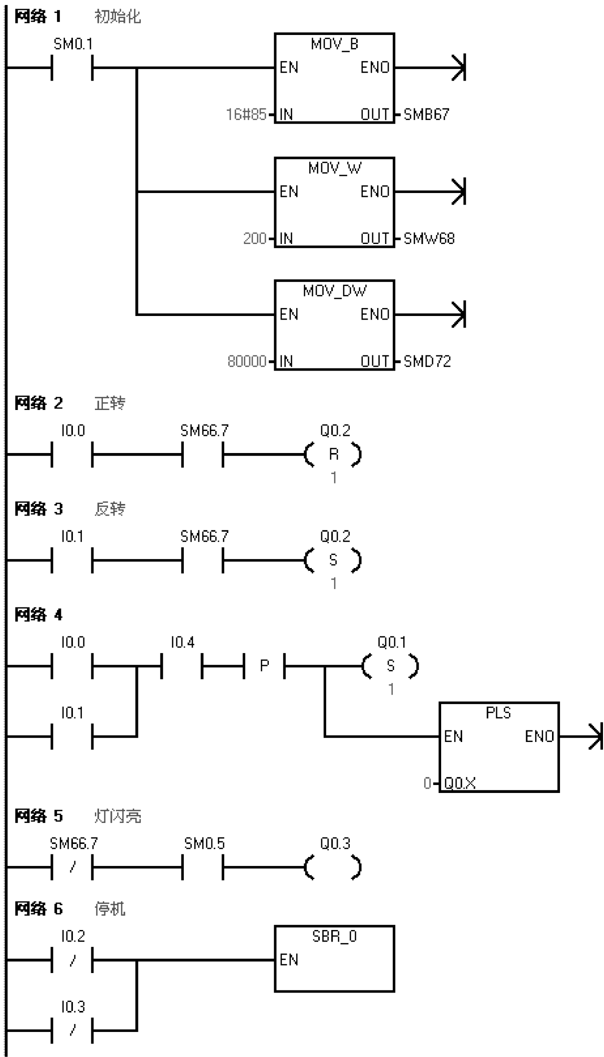


图 3-35　a）PLC 的高速输出点控制伺服电动机主程序

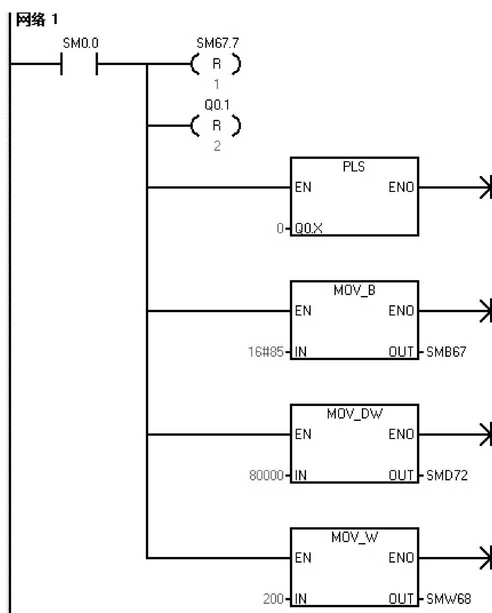


图 3-35　b）PLC 的高速输出点控制伺服电动机子程序

当完成系统接线、参数设定和程序下载后，压下按钮 SB1 时，伺服电动机正转，压下 SB3 或者 SB4 伺服电动机停转，压下 SB2 按钮伺服电动机反转。当系统碰到行程开关 SQ1 或者 SQ2 时，伺服电动机也停止转动。

6. 信号的变换问题

众所周知西门子的 PLC 的晶体管输出多为 PNP 型（CPUX224XPsi 为 NPN 输出，是最近才推出的新品），而三菱的伺服驱动器多为 NPN 输入，很显然，三菱的驱动器不能直接接收西门子的 PNP 信号。解决问题的方案就是将西门子的 PLC 的信号反相，如图 3-36 所示，PLC 的 Q0.0 输出的信号经过晶体管 SS8050 后变成伺服驱动器可以接收的信号，从 PP 端子输入。

【关键点】 需要指出的是对于要求不高的系统可以采用此解决方案，因为 PLC 输出的脉冲信号经过晶体管处理后，其品质明显变差（可用示波器观看），容易丢脉冲，因此最好还是选用 NPN 输出的 PLC 控制三菱的伺服驱动系统。

3.2.2　S7-200 PLC 的高速输出点控制西门子伺服系统

在大中型工程上使用的西门子的伺服驱动系统，通常采用现场总线控制（PROFIBUS 或者 POFINET），其功能强大，但价格一般都比较昂贵，需要设置的参数也比较多，上手不容易。而 SINAMICS V80 是经济性的伺服驱动系统，是最近几年才推出的较为新型的产品，其功能虽然不如主流伺服驱动系统强大，但价格便宜，设置参数少，使用非常方便，适合在低端场合应用。

1. SINAMICS V80 伺服系统简介

SINAMICS V80 伺服驱动系统包括伺服驱动器和伺服电动机两部分，伺服驱动器和其对应的同功率的伺服电动机配套使用。SINAMICS V80 伺服驱动器是通过脉冲输入接口直接接收上位控制器发来的脉冲系列，进行速度和位置控制，通过数字量接口信号来完成驱动器运行和实时状态输出。顺便指出，西门子的主流伺服驱动系统一般为现场总线控制。

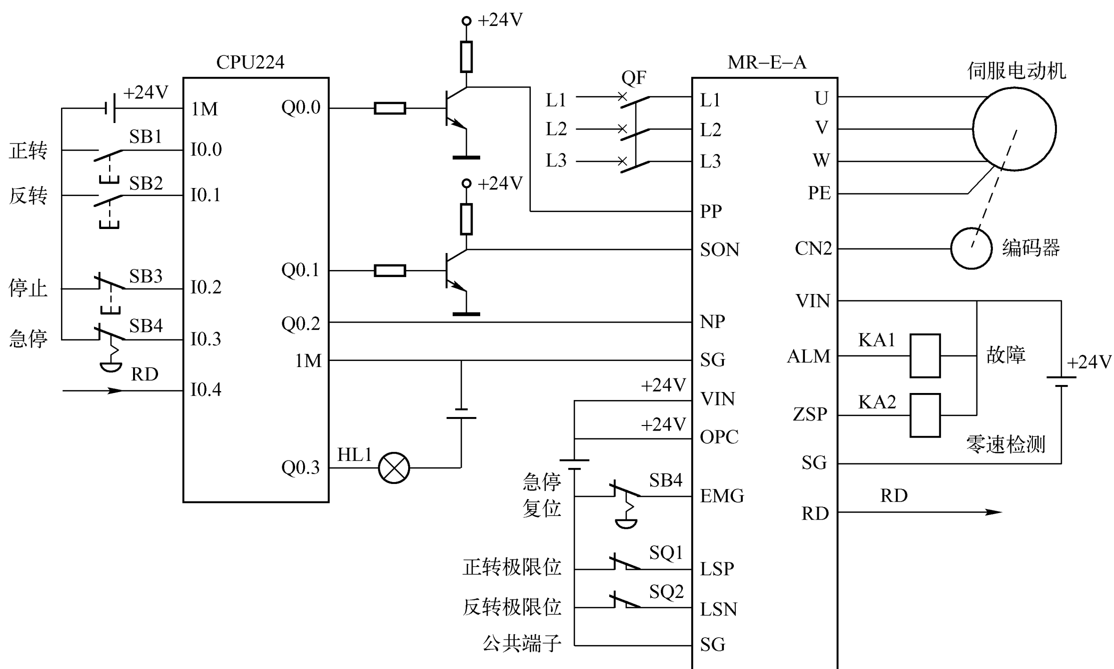


图 3-36　PLC 的高速输出点控制伺服电动机

（1）SINAMICS V80 伺服驱动器

SINAMICS V80 伺服驱动器如图 3-37 所示，图中标示了各部分的名称，现对其主要作用进行说明。

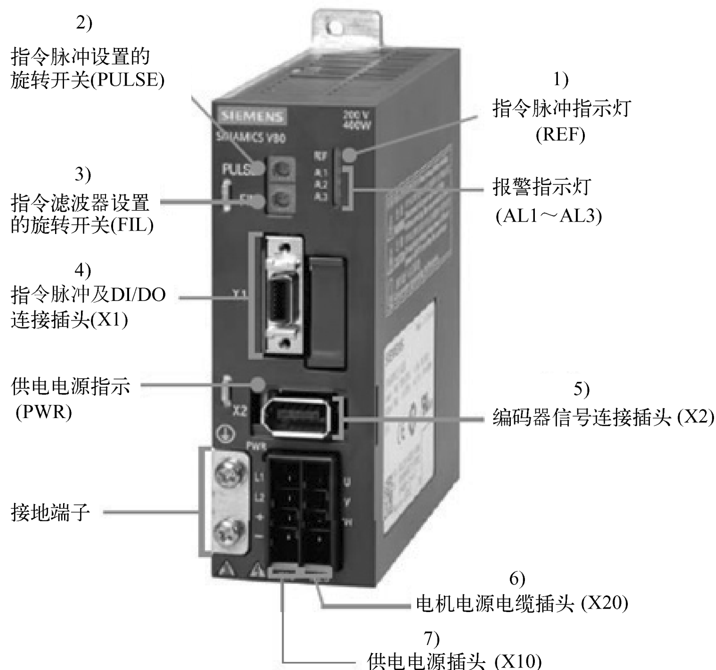


图 3-37　SINAMICS V80 伺服驱动器

1）指令脉冲指示灯。指令脉冲指示灯（REF）的含义见表3–12。

表3–12　指令脉冲指示灯的含义

序　号	指　示　灯	电动机通电状态	指 令 脉 冲
1	橙灯亮	关	—
2	橙灯闪	关	脉冲正在输入
3	绿灯亮	开	—
4	绿灯闪	开	脉冲正在输入

2）指令脉冲设置。指令脉冲（PULSE）必须在断电时设置，指令脉冲的设置的旋转开关的位置及其含义见表3–13。

表3–13　指令脉冲的设置的旋转开关的位置及其含义

设　　置	指令脉冲分辨率	指令脉冲连接方式	指令脉冲类型
0	1000	集电极开路或者线驱动	CW + CCW 正逻辑 CW CCW
1	2500		
2	5000	线驱动	
3	10000		
4	1000	集电极开路或者线驱动	CW + CCW 负逻辑 CW CCW
5	2500		
6	5000	线驱动	
7	10000		
8	1000	集电极开路或者线驱动	方向 + 脉冲序列 正逻辑 PULS SIGN
9	2500		
A	5000	线驱动	
B	10000		
C	1000	集电极开路或者线驱动	方向 + 脉冲序列 负逻辑 脉冲 方向
D	2500		
E	5000	线驱动	
F	10000		

3）指令滤波设置。只有在机器震动（爬行）时，才需要改变指令滤波值（FIL）。滤波时间设置见表3–14。

表 3-14　滤波设置

设　　置	滤波时间常数/ms	指令结束到定位完成时间/ms	说　　明
0	45	100 ~ 200	较短的滤波时间常数（高动态） ↕ 较长的滤波时间常数（较稳定）
1	50	110 ~ 220	
2	50	130 ~ 260	
3	65	150 ~ 300	
4	70	170 ~ 340	
5	80	200 ~ 400	
6	85	250 ~ 500	
7	170	500 ~ 1000	
8 至 F	不要设定成该值		

4）I/O 信号连接器。I/O 信号连接器（X1 端子）是非常关键的，必须要弄清楚每个引脚的含义，在系统设计和编写程序时，都会用到。I/O 信号连接器的引脚的含义见表 3-15。

表 3-15　I/O 信号连接器的引脚的含义

端子号	输入/输出	信号	说　　明
1	输入	+ CW/PULS	指令脉冲（反转）
2	输入	- CW/PULS	
3	输入	+ CCW/SIGN	指令脉冲（正转）/旋转方向
4	输入	- CCW/SIGN	
5	输入	+ 24VIN	外部 + 24 V 电源
6	输入	ON/OFF	伺服起动命令
7	输出	M ground	输出信号地
8	输入	+ CLR	停止指令脉冲并删除剩余位置（ ）
9	输入	- CLR	
10	输出	Phase Z	编码器 Z 相信号（1 脉冲/转） 注意：该信号的下降沿有效（ ）
11	输出	Phase Z common	编码器 Z 相信号地
12	输出	Alarm	电动机松闸
13	输出	BK	定位完成
14	输出	POS_OK	屏蔽
外壳	—	—	

5）编码器连接器。编码器连接器（X2 端子）直接有专用接插件连接，通常不会出错。其引脚含义见表 3-16。

表 3-16　编码器连接器引脚含义

端子号	信　　号	说　　明
1	P_Encoder 5 V	编码器电源
2	M_Encoder(M)	编码器电源地
3	AP	编码器 A +
4	AN	编码器 A -
5	BP	编码器 B +
6	BN	编码器 B -
7	Z	编码器 Z
8	U	U 相
9	V	V 相
10	W	W 相
外壳	—	屏蔽

6）电动机电源电缆插头。电动机电源电缆插头（X20 端子）是伺服驱动器向伺服电动机供电的接头，其引脚较少，含义也简单，电动机电源电缆插头的引脚见表 3-17。

表 3-17　电动机电源电缆插头的引脚

端子号	信　　号	说　　明
1	U	U 相
2	V	V 相
3	W	W 相
4	—	备用

7）供电电源插头。供电电源插头（X10 端子）连接伺服驱动器的供电交流电源，供电电源插头的引脚见表 3-18。

表 3-18　供电电源插头的引脚

端子号	信　　号	说　　明
1	L1	AC 200 ~ 230 V 输入电源端子
2	L2	
3	+	备用
4	-	

（2）伺服驱动器和伺服电动机的连接

伺服驱动器和伺服电动机的连接并不复杂，将专用的编码器电缆插在伺服驱动器的 X2 接线端子上，然后连接到伺服电动机的编码器上，再将电动机功率电缆连接在伺服驱动器的

X20 端子上，然后连接到伺服电动机上，如图 3-38 所示。

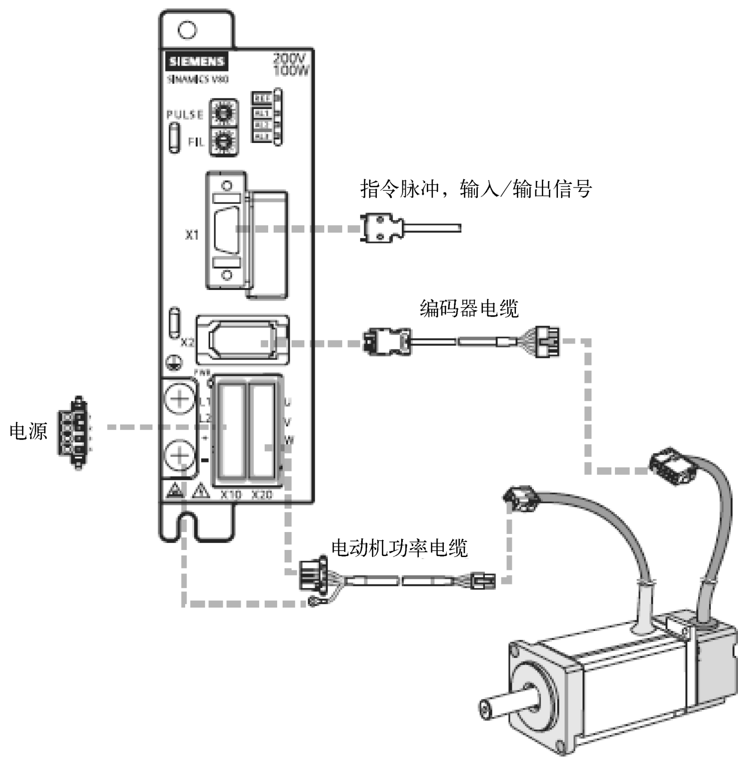


图 3-38　伺服驱动器和伺服电动机的连接

2. PCB 板下载检测线控制系统安装与调试

目前中国传统的 PCB 生产厂家，一般人工对 PCB 下载程序，然后人工检测 PCB 板的线路是否完好，这种操作虽然设备简单，但其缺点也十分明显，不仅劳动强度大、工作效率低，而且人工操作的差错率也较大。随着人力成本的不断上升和用户对产品质量的要求不断提升，这种人工方法的弊端日益显现，越来越不适合现代化大规模生产。PCB 板下载检测线是为适应自动化生产而研制出的自动化生产线，它集成了程序下载和产品检验功能，其自动化程度高、效率高且下载和检验的差错率小，将逐渐取代人工操作方式。

（1）PCB 板下载检测线系统描述

用 PLC 实现 PCB 板下载检测线的控制。系统工作过程描述如下。

PCB 板下载检测线由 4 个站点组成，即上料站、下载检验站、合格品站和不合格品站。小车上有气缸和吸盘，小车由伺服电动机驱动。动作过程是：

小车移动到上料站，气缸下移，吸盘吸住 PCB 板后上移，并把 PCB 板送到下载检验站，气缸下移并释放 PCB 板，之后开始下载检验，2 s 后，下车得到是否合格的信息，如合格，则将 PCB 板送到合格品站；如不合格，则将 PCB 板送到不合格品站。

PCB 板下载检测线的结构如图 3-39 所示。

1）上料站：由电动机带动丝杠，将 PCB 板向上输送，当吸盘吸走一块 PCB 板，电动机带动丝杠将剩余 PCB 板向上移一个 PCB 板的高度（约 5 mm），停止位置由限位接近开关 SQ12 检测。当 SQ4 检测输送到最上位时，电动机带动丝杠移动到最下位，人工装料。

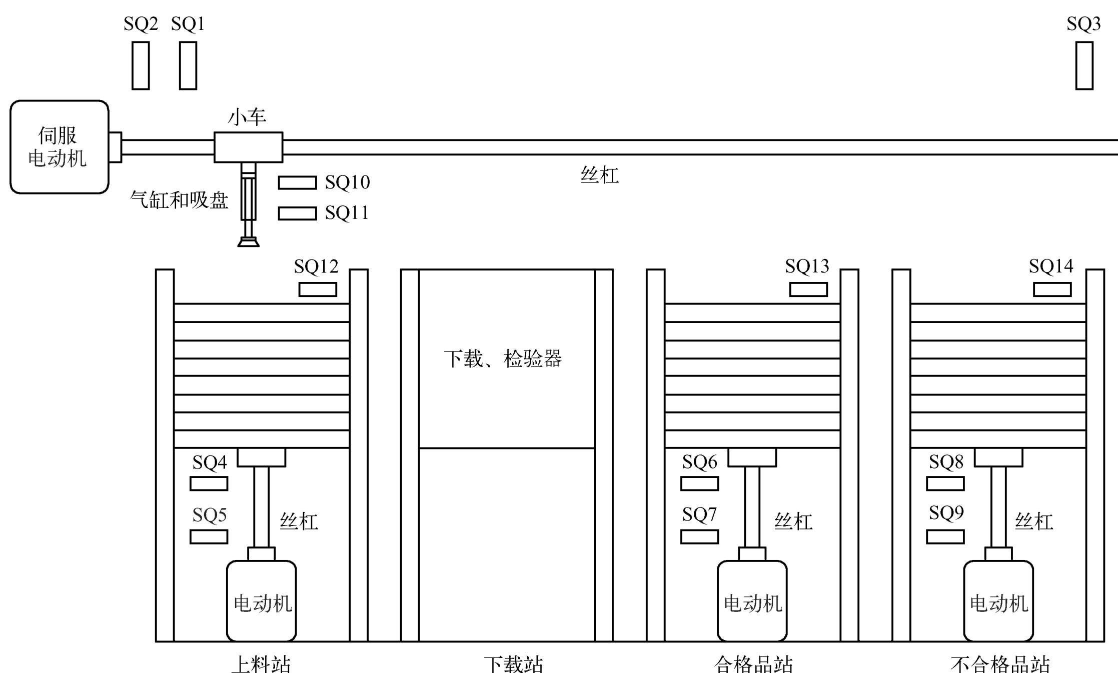


图 3-39 PCB 板下载检测线的结构

2）检测站：当 PCB 板释放 1 s 后，PLC 发出信号给下载和检验站，下载和检验站进行下载和检测。如合格，则发出合格信号（开关量）给 PLC；如不合格，则发出不合格信号（开关量）给 PLC。

3）合格品站：当 PLC 收到合格信号后，吸盘将 PCB 板搬运到合格品站，并释放到位。之后电动机带动丝杠下行，下行位置有位置接近开关 SQ13 定（约 5 mm）。当下行到下极限位置 SQ7 时，系统提示，要取走合格品。

4）不合格品站：当 PLC 收到不合格信号后，吸盘将 PCB 板搬运到不合格品站，并释放到位。之后电动机带动丝杠下行，下行位置有位置接近开关 SQ14 定（约 5 mm）。当下行到下极限位置 SQ9 时，系统提示，要取走不合格品。

其控制控制任务要求如下：

1）有手动/自动转换开关 SA1，手动模式时，可以手动对吸盘进行上行和下行控制，对小车进行前后移动。手动按钮设置在 HMI 中。

2）自动模式时，当小车在初始位置，压下“起动”按钮 SB1，完成上料、下载检验、放置在合格或者不合格站，再回到上料站，如此循环。

3）设置“停止”和“急停”按钮，当压下“停止”按钮，完成一个工作循环后停机，而按下“急停”按钮后，立即停机。

4）设置“复位”按钮，手动模式有效，当压下复位按钮时，小车回到原点位置。

（2）PCB 板下载检测线系统设计

1）系统软硬件。

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 台伺服电动机，型号为 1FL044 -0AF21 -0AA0。

③ 1 台伺服驱动器，型号为 6SL3210－5CB13－7AA0。
④ 3 台变频器，型号为 CU240B－2 和 P240。
⑤ 3 台变频电动机。
⑥ 1 台 PLC，型号为 CPU226CN。
⑦ 1 台 HMI，型号为 TPC1061TI。
⑧ 1 套 MCGS 组态软件。
2）PLC 的 I/O 分配。PLC 的 I/O 分配表见表 3-19。

表 3-19　PLC 的 I/O 分配表

输　入			输　出		
名　称	代　号	地　址	名　称	代　号	地　址
原点	SQ1	I0.0		PULS	Q0.0
左极限	SQ2	I0.1		SIGN	Q0.1
右极限	SQ3	I0.2		ON/OFF	Q0.2
起动	SB1	I0.3		CLR	Q0.3
停止	SB2	I0.4	电磁阀（下行）	KA1	Q0.4
复位	SB3	I0.5	电磁阀（上行）	KA2	Q0.5
手/自转换	SA1	I0.6	电磁阀（真空发生器）	KA3	Q0.6
急停	SB4	I0.7	起动下载	KA4	Q0.7
上料上限	SQ4	I1.0	取料	KA5	Q1.0
上料下限	SQ5	I1.1	复位指示灯	HL1	Q1.1
合格上限	SQ6	I1.2	三色灯（红）	HL2	Q1.2
合格下限	SQ7	I1.3	三色灯（绿）	HL3	Q1.3
不合格上限	SQ8	I1.4	三色灯（黄）	HL4	Q1.4
不合格下限	SQ9	I1.5			
吸盘上限	SQ10	I1.6			
吸盘下限	SQ11	I1.7			
上料到位	SQ12	I2.0			
合格到位	SQ13	I2.1			
不合格到位	SQ14	I2.2			
检验合格	KA5	I2.3			
检验不合格	KA6	I2.4			
Alarm		I2.5			
POS_OK		I2.6			
Phase_z		I2.7			

3）设计气动原理图。气动系统比较简单只有升降气缸和吸盘，用于吸附和搬运 PCB 板，气动原理图如图 3-40 所示。

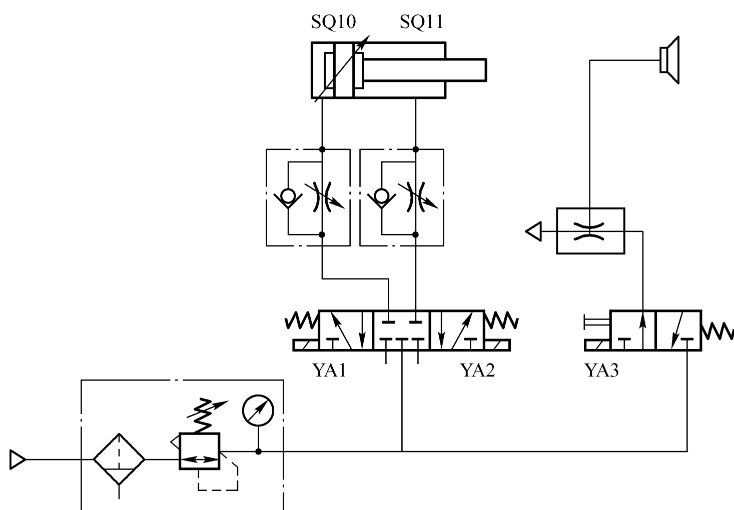


图 3-40　气动原理图

4）设计电气原理图。在电气控制系统中，伺服系统用于精确的位置控制，伺服系统的定位和速度控制由 PLC 发出的脉冲个数和脉冲频率控制。三台变频器的控制由 PLC 与变频器通过 USS 通信实现。电气原理图如图 3-41 和图 3-42 所示。

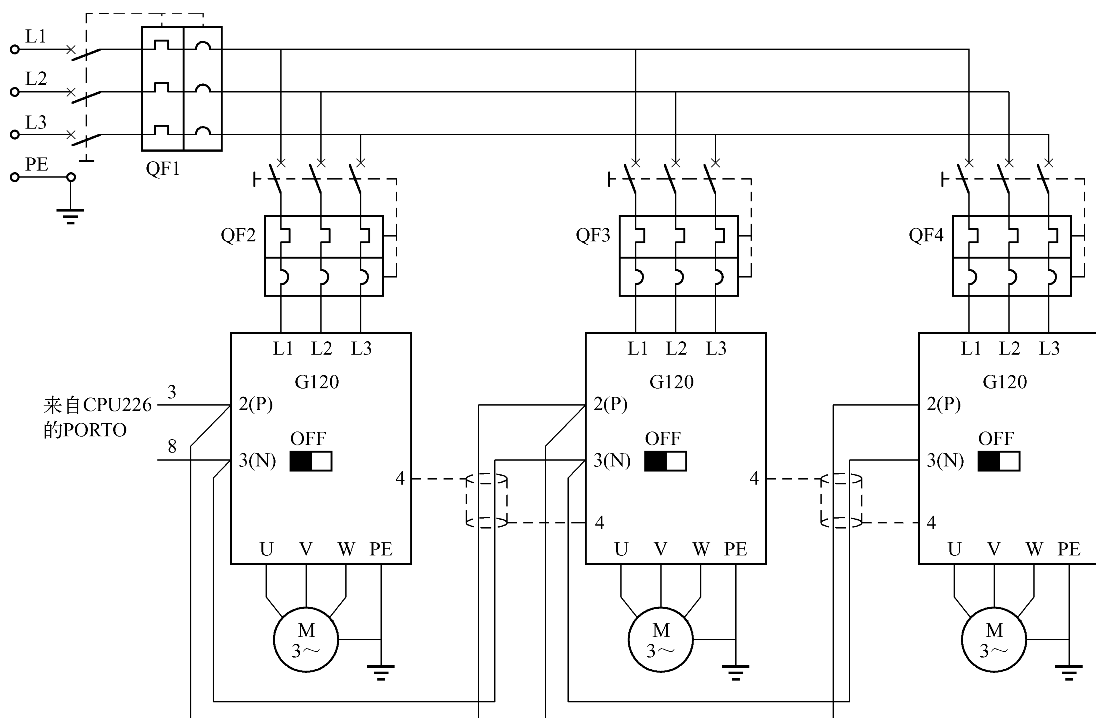
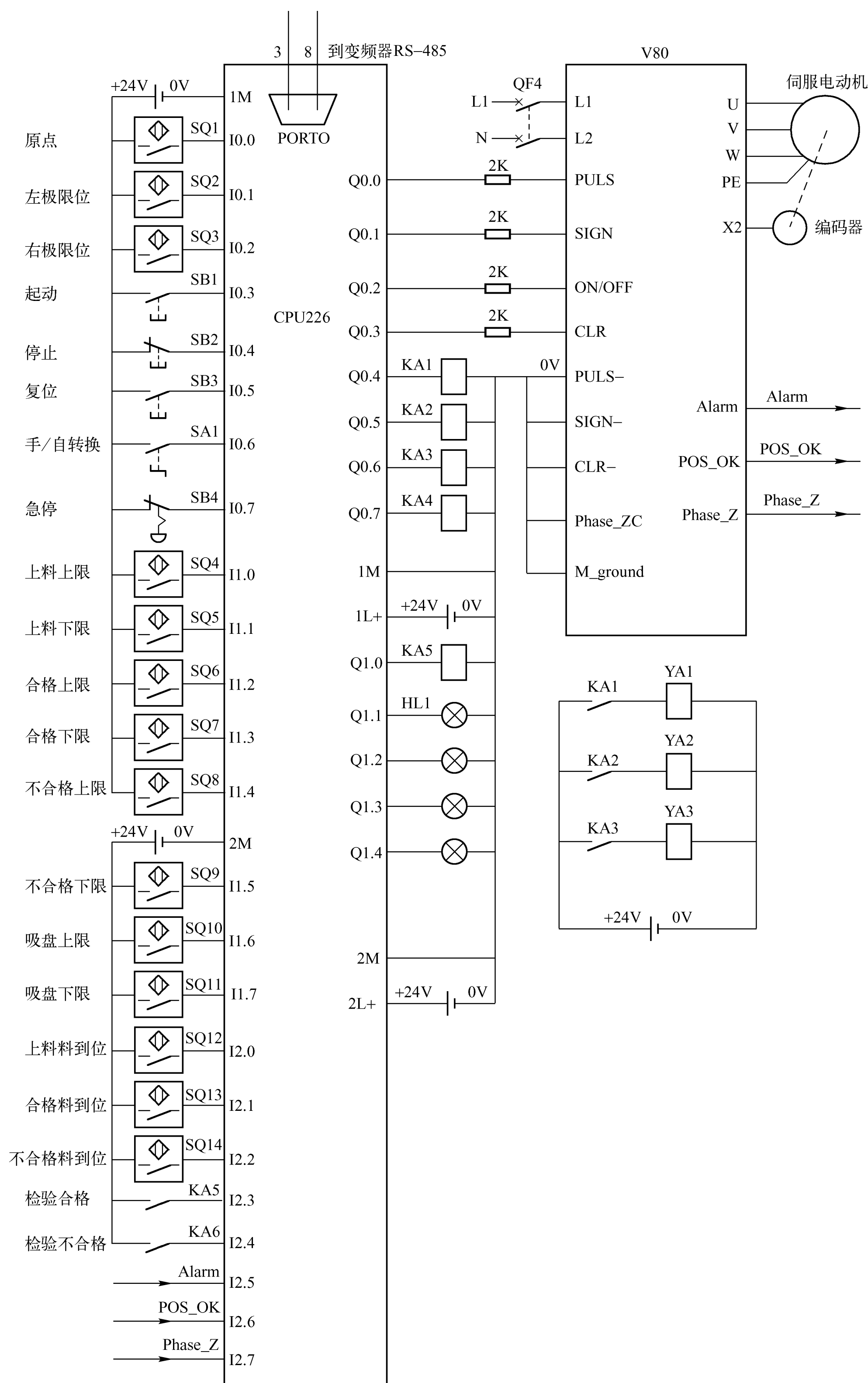


图 3-41　电气原理图（1）



3
8
到变频器RS-485
V80
+24V
0V
1M
PORTO
QF4
L1
N
L1
L2
U
V
W
PE
X2
伺服电动机
编码器
原点
SQ1
I0.0
左极限位
SQ2
I0.1
右极限位
SQ3
I0.2
起动
SB1
I0.3
CPU226
停止
SB2
I0.4
复位
SB3
I0.5
手/自转换
SA1
I0.6
急停
SB4
I0.7
Q0.0
Q0.1
Q0.2
Q0.3
Q0.4
Q0.5
Q0.6
Q0.7
2K
PULS
SIGN
ON/OFF
CLR
KA1
KA2
KA3
KA4
0V
PULS−
SIGN−
CLR−
Phase_ZC
M_ground
Alarm
POS_OK
Phase_Z
上料上限
SQ4
I1.0
上料下限
SQ5
I1.1
合格上限
SQ6
I1.2
合格下限
SQ7
I1.3
不合格上限
SQ8
I1.4
1M
1L+
KA5
Q1.0
HL1
Q1.1
Q1.2
Q1.3
Q1.4
YA1
YA2
YA3
2M
不合格下限
SQ9
I1.5
吸盘上限
SQ10
I1.6
吸盘下限
SQ11
I1.7
上料料到位
SQ12
I2.0
合格料到位
SQ13
I2.1
不合格料到位
SQ14
I2.2
检验合格
KA5
I2.3
检验不合格
KA6
I2.4
I2.5
I2.6
I2.7
2L+

图 3-42　电气原理图（2）

【关键点】本例是用 USS 通信，S7-200 的站地址是 2，3 台变频器的站地址是 3、4、5，S7-200 通信网络接头拨到“ON”，3 号站和 4 号站拨到“OFF”，5 号站拨到“ON”。

（3）参数设定

1）伺服驱动器的参数设置。由于 SINAMICS V80 伺服驱动器是简易型伺服驱动器，相对于其他伺服系统而言，其参数设置比较简单。把指令脉冲旋钮旋转到“8”，其含义是：指令连接方式是集电极开路或者线驱动，指令脉冲类型为“方向 + 脉冲系列，正脉冲”，脉冲分辨率为“1000 脉冲/转”。

如果设备有震动或者爬行，还要设置滤波时间。

2）变频器的参数设置。变频器的参数设置尤为重要，本例仅以 3 号变频器参数设置为例，见表 3-20。

表 3-20　3 号变频器参数设置

序　号	变频器参数	出厂值	设定值	功 能 说 明
1	P0304	400	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	3. 05	3. 25	电动机的额定电流（3. 25 A）
3	P0307	0. 75	0. 75	电动机的额定功率（0. 75 kW）
4	P0310	50. 00	50. 00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	0	1440	电动机的额定转速（1440 r/min）
6	P0015	7	21	启用变频器宏程序
7	P2030	2	1	USS 通信
8	P2020	6	6	USS 波特率（6 ~ 9600Baud）
9	P2021	0	3	站点的地址
10	P2040	100	0	过程数据监控时间

【关键点】

① 在设置电动机参数和 P0015 时，必须让 P0010 = 1，之后设变频器参数和运行时，P0010 = 0。

② 变频器的 P0304 默认为 400 V，这个数值可以不修改。

③ P2021 为站地址，上表为 3，另外 2 台分别为 4 和 5，S7-200 的站地址为 2。

④ 默认的 P2040 的监控时间为 100 ms，多台设备通信时，可能太小，需要根据需要调大。也可以让 P2040 = 0，含义是取消过程数据监控。

（4）编写程序

编写梯形图程序如图 3-43 所示。

3. 2. 3　使用现场总线控制伺服电系统

在学习本部分内容之前，请读者先阅读第 5. 4. 3 节 S7-300 PLC 与 MM440 变频器的场总线通信调速的相关内容，因为本部分与 5. 4. 3 节的控制方案是一致的，因此本部分不详细讲解 PROFIBUS 通信的具体内容和通信函数。

1. Sinamics S120AC/AC 单轴驱动器概述

Sinamics S120AC/AC 单轴驱动器是在西门子公司推出的新一代交流驱动产品 - 集整流和逆变于一体的新型驱动器，既能实现通常的 V/F 和矢量控制，又能实现高精度、高性能的伺服控制功能。它不仅能控制普通的三相异步电动机，还能控制异步和同步伺服电机、扭矩电动机及直线电动机。其强大的定位功能将实现进给轴的绝对、相对定位。

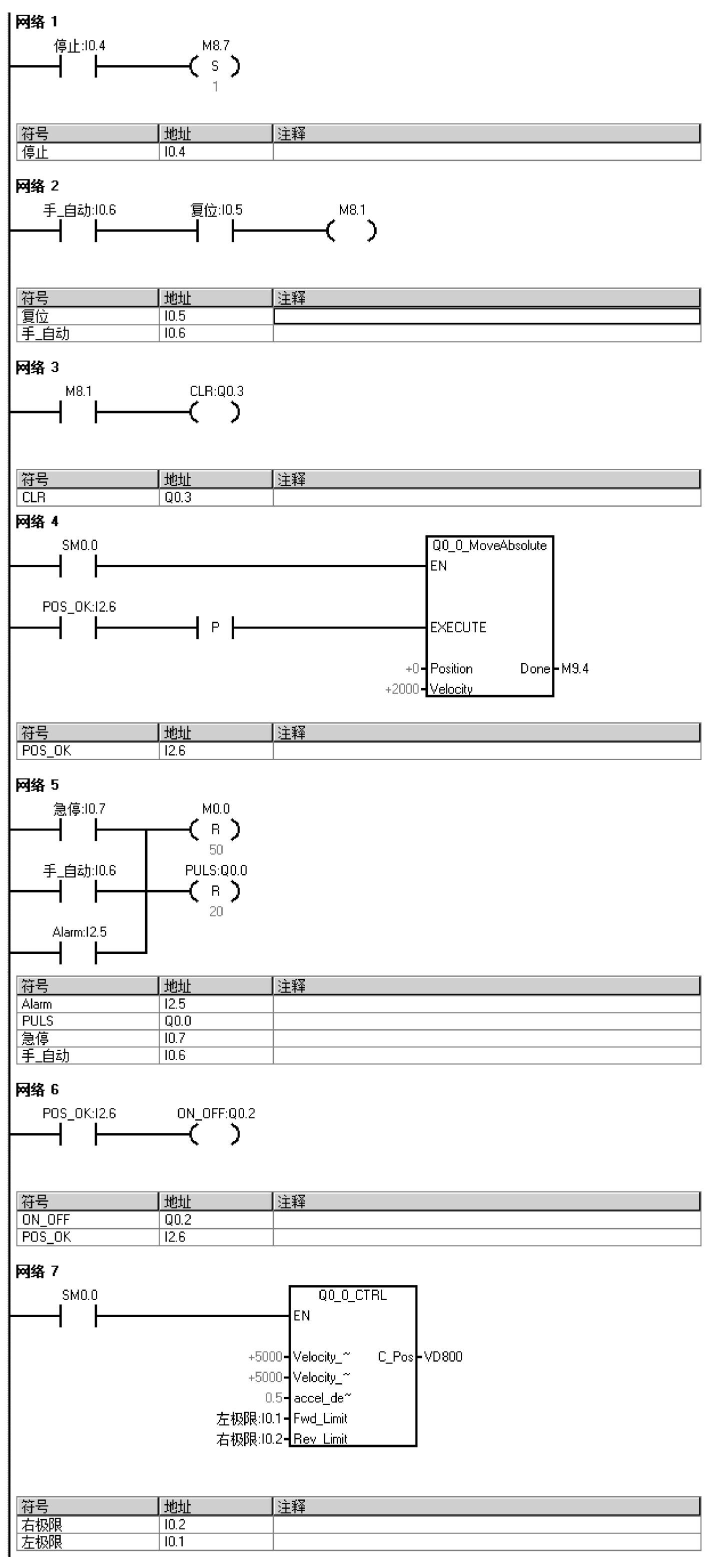
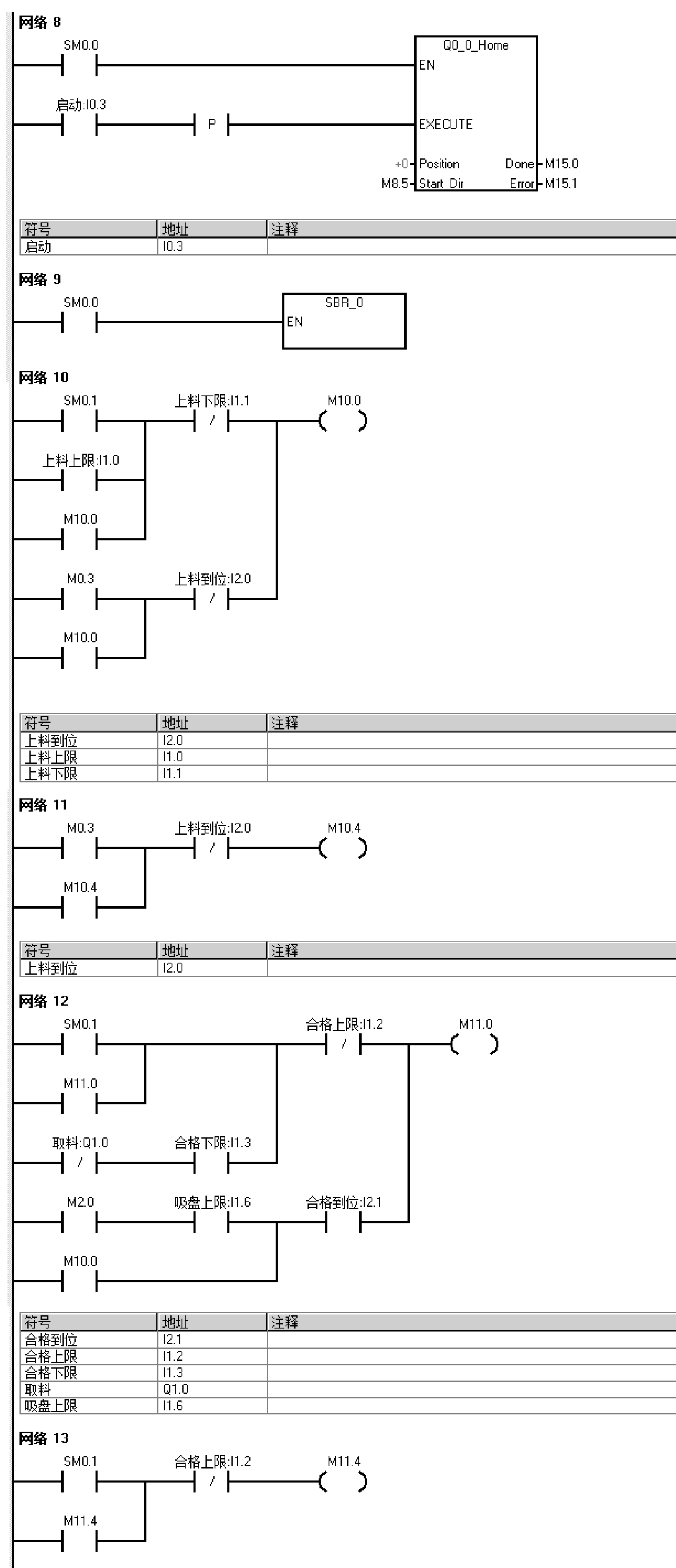

网络 1
停止:I0.4
M8.7
S
1
符号 地址 注释
停止 I0.4
网络 2
手_自动:I0.6
复位:I0.5
M8.1
符号 地址 注释
复位 I0.5
手_自动 I0.6
网络 3
M8.1
CLR:Q0.3
符号 地址 注释
CLR Q0.3
网络 4
SM0.0
Q0_0_MoveAbsolute
EN
POS_OK:I2.6
P
EXECUTE
+0
Position
Done
M9.4
+2000
Velocity
符号 地址 注释
POS_OK I2.6
网络 5
急停:I0.7
M0.0
R
50
手_自动:I0.6
PULS:Q0.0
R
20
Alarm:I2.5
符号 地址 注释
Alarm I2.5
PULS Q0.0
急停 I0.7
手_自动 I0.6
网络 6
POS_OK:I2.6
ON_OFF:Q0.2
符号 地址 注释
ON_OFF Q0.2
POS_OK I2.6
网络 7
SM0.0
Q0_0_CTRL
EN
+5000
Velocity_~
C_Pos
VD800
+5000
Velocity_~
0.5
accel_de~
左极限:I0.1
Fwd_Limit
右极限:I0.2
Rev_Limit
符号 地址 注释
右极限 I0.2
左极限 I0.1

图 3-43　梯形图


网络 8
SM0.0
Q0_0_Home
EN
启动:I0.3
P
EXECUTE
+0
Position
Done
M15.0
M8.5
Start_Dir
Error
M15.1

符号	地址	注释
启动	I0.3	

网络 9
SM0.0
SBR_0
EN

网络 10
SM0.1
上料下限:I1.1
M10.0
上料上限:I1.0
M10.0
M0.3
上料到位:I2.0
M10.0

符号	地址	注释
上料到位	I2.0	
上料上限	I1.0	
上料下限	I1.1	

网络 11
M0.3
上料到位:I2.0
M10.4
M10.4

符号	地址	注释
上料到位	I2.0	

网络 12
SM0.1
合格上限:I1.2
M11.0
M11.0
取料:Q1.0
合格下限:I1.3
M2.0
吸盘上限:I1.6
合格到位:I2.1
M10.0

符号	地址	注释
合格到位	I2.1	
合格上限	I1.2	
合格下限	I1.3	
取料	Q1.0	
吸盘上限	I1.6	

网络 13
SM0.1
合格上限:I1.2
M11.4
M11.4

图 3-43　梯形图（续）

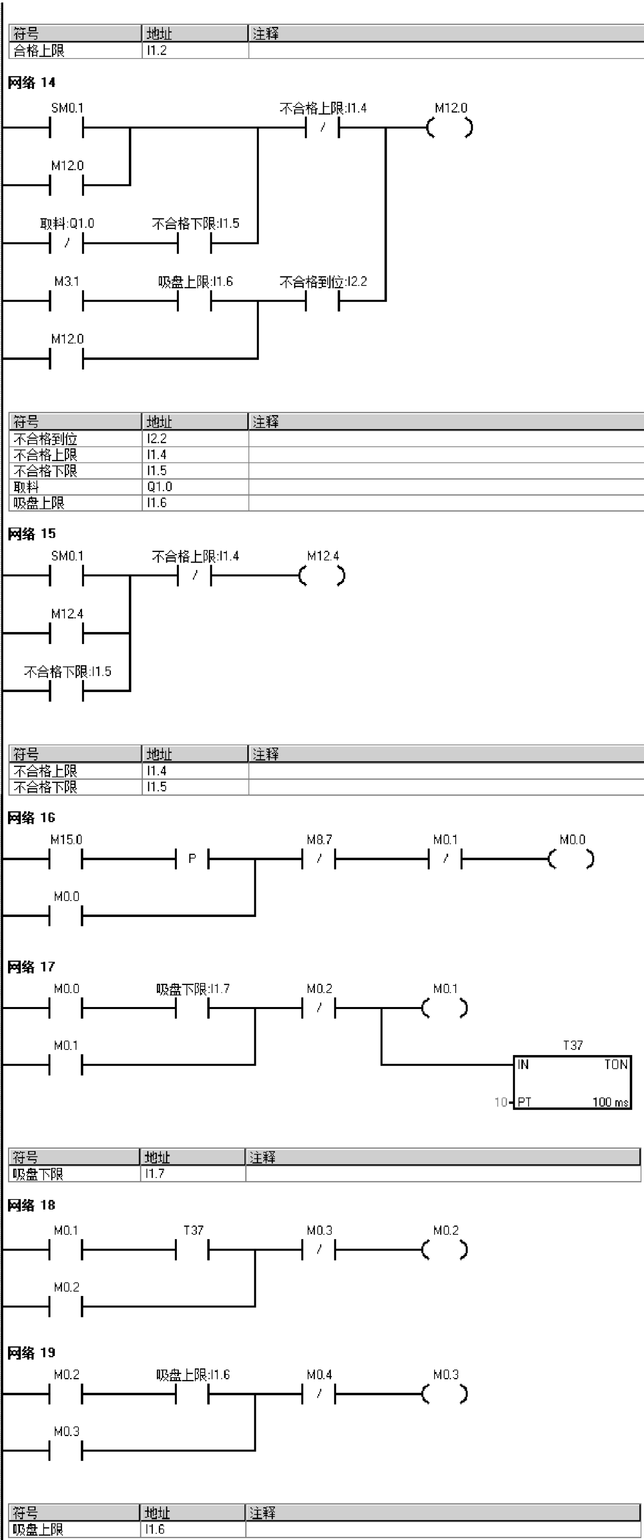

符号 地址 注释
合格上限 I1.2
网络 14
SM0.1
不合格上限:I1.4
M12.0
M12.0
取料:Q1.0
不合格下限:I1.5
M3.1
吸盘上限:I1.6
不合格到位:I2.2
M12.0
符号 地址 注释
不合格到位 I2.2
不合格上限 I1.4
不合格下限 I1.5
取料 Q1.0
吸盘上限 I1.6
网络 15
SM0.1
不合格上限:I1.4
M12.4
M12.4
不合格下限:I1.5
符号 地址 注释
不合格上限 I1.4
不合格下限 I1.5
网络 16
M15.0
P
M8.7
M0.1
M0.0
M0.0
网络 17
M0.0
吸盘下限:I1.7
M0.2
M0.1
M0.1
T37
IN
TON
10
PT
100 ms
符号 地址 注释
吸盘下限 I1.7
网络 18
M0.1
T37
M0.3
M0.2
M0.2
网络 19
M0.2
吸盘上限:I1.6
M0.4
M0.3
M0.3
符号 地址 注释
吸盘上限 I1.6

图 3-43　梯形图（续）

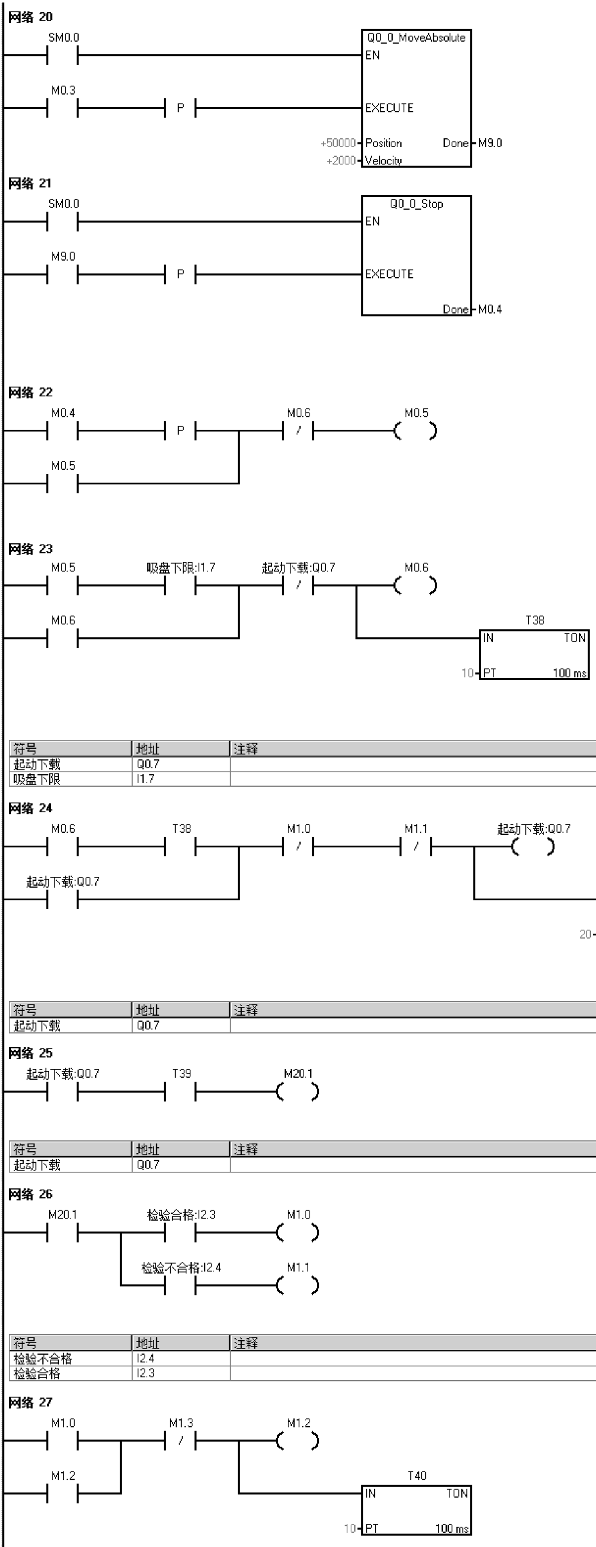
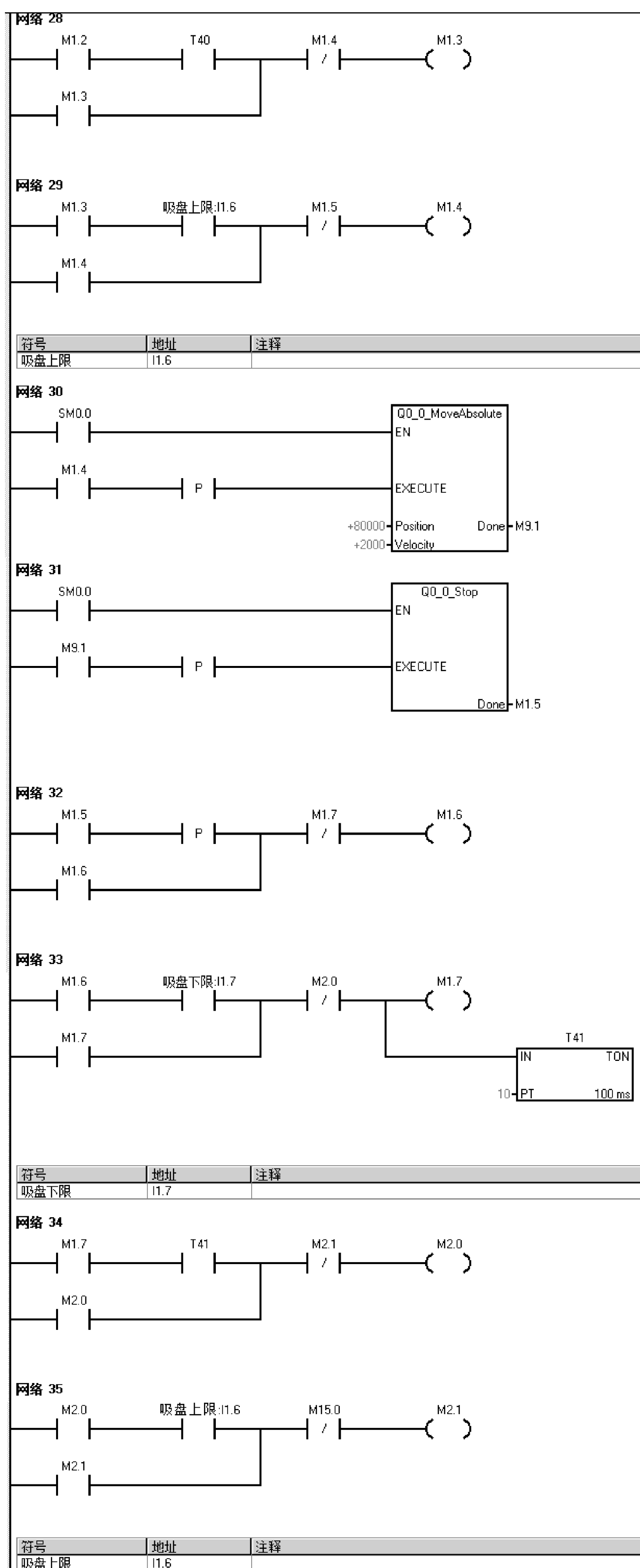

网络 20
SM0.0
M0.3
P
Q0_0_MoveAbsolute
EN
EXECUTE
+50000 Position
+2000 Velocity
Done M9.0
网络 21
SM0.0
M9.0
P
Q0_0_Stop
EN
EXECUTE
Done M0.4
网络 22
M0.4
P
M0.6
M0.5
M0.5
网络 23
M0.5
吸盘下限:I1.7
起动下载:Q0.7
M0.6
M0.6
T38
IN TON
10 PT 100 ms
符号 地址 注释
起动下载 Q0.7
吸盘下限 I1.7
网络 24
M0.6
T38
M1.0
M1.1
起动下载:Q0.7
起动下载:Q0.7
T39
IN TON
20 PT 100 ms
符号 地址 注释
起动下载 Q0.7
网络 25
起动下载:Q0.7
T39
M20.1
符号 地址 注释
起动下载 Q0.7
网络 26
M20.1
检验合格:I2.3
M1.0
检验不合格:I2.4
M1.1
符号 地址 注释
检验不合格 I2.4
检验合格 I2.3
网络 27
M1.0
M1.3
M1.2
M1.2
T40
IN TON
10 PT 100 ms

图 3-43　梯形图（续）


网络 28
M1.2
T40
M1.4
M1.3
M1.3
网络 29
M1.3
吸盘上限:I1.6
M1.5
M1.4
M1.4
符号 地址 注释
吸盘上限 I1.6
网络 30
SM0.0
Q0_0_MoveAbsolute
EN
M1.4
P
EXECUTE
+80000 Position
Done M9.1
+2000 Velocity
网络 31
SM0.0
Q0_0_Stop
EN
M9.1
P
EXECUTE
Done M1.5
网络 32
M1.5
P
M1.7
M1.6
M1.6
网络 33
M1.6
吸盘下限:I1.7
M2.0
M1.7
M1.7
T41
IN TON
10 PT 100 ms
符号 地址 注释
吸盘下限 I1.7
网络 34
M1.7
T41
M2.1
M2.0
M2.0
网络 35
M2.0
吸盘上限:I1.6
M15.0
M2.1
M2.1
符号 地址 注释
吸盘上限 I1.6
图 3-43　梯形图（续）

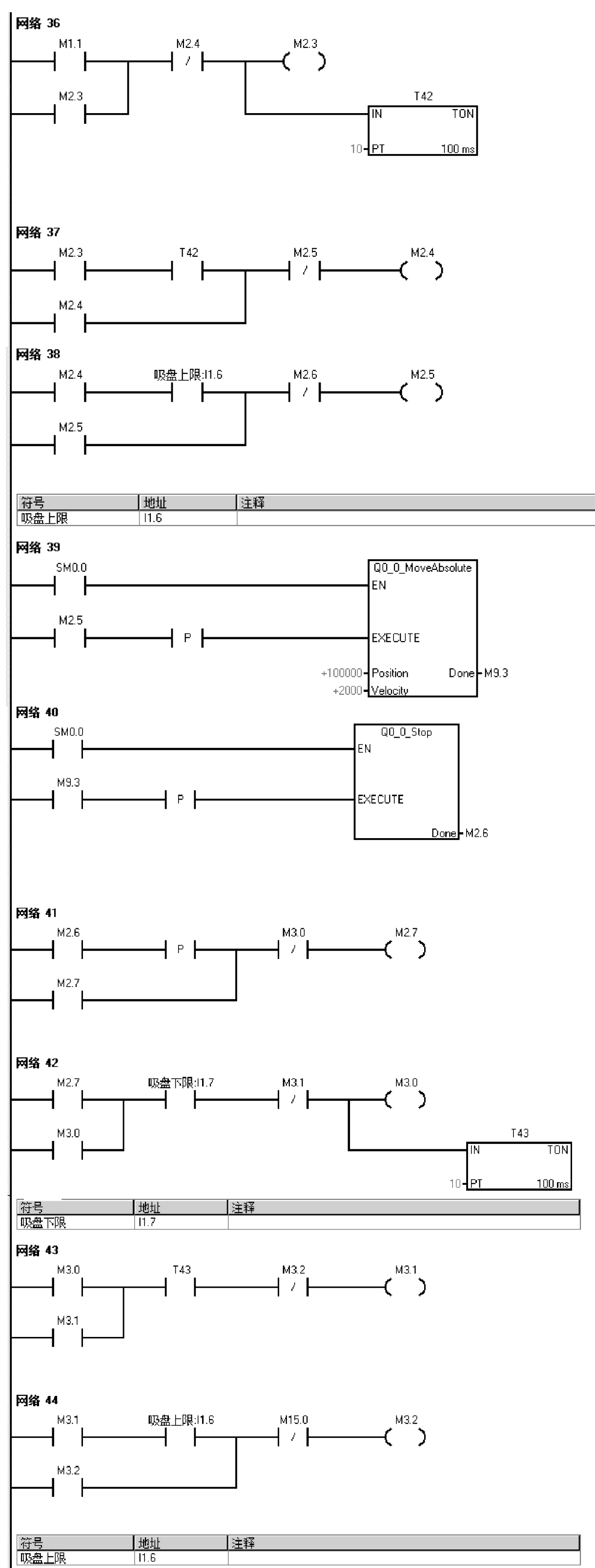

网络 36
M1.1
M2.4
M2.3
M2.3
T42
IN
TON
10
PT
100 ms
网络 37
M2.3
T42
M2.5
M2.4
M2.4
网络 38
M2.4
吸盘上限:I1.6
M2.6
M2.5
M2.5
符号 地址 注释
吸盘上限 I1.6
网络 39
SM0.0
Q0_0_MoveAbsolute
EN
M2.5
P
EXECUTE
+100000
Position
Done
M9.3
+2000
Velocity
网络 40
SM0.0
Q0_0_Stop
EN
M9.3
P
EXECUTE
Done
M2.6
网络 41
M2.6
P
M3.0
M2.7
M2.7
网络 42
M2.7
吸盘下限:I1.7
M3.1
M3.0
M3.0
T43
IN
TON
10
PT
100 ms
符号 地址 注释
吸盘下限 I1.7
网络 43
M3.0
T43
M3.2
M3.1
M3.1
网络 44
M3.1
吸盘上限:I1.6
M15.0
M3.2
M3.2
符号 地址 注释
吸盘上限 I1.6

图 3-43 梯形图（续）

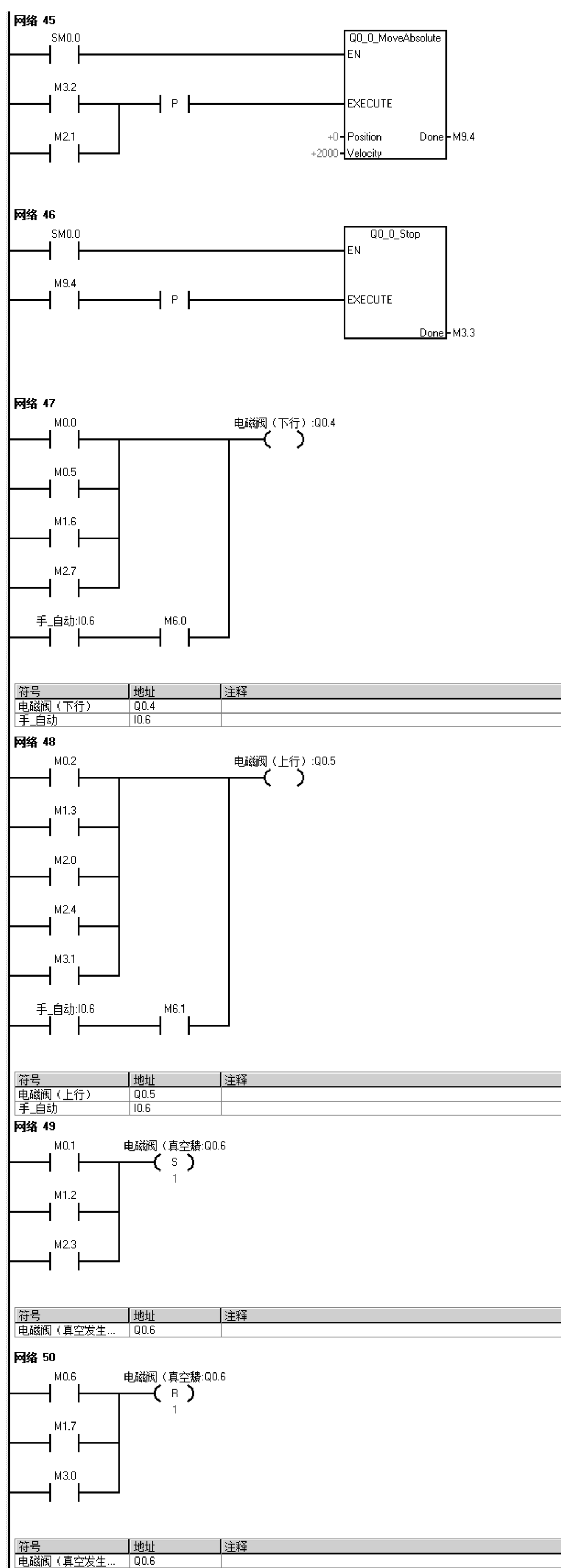
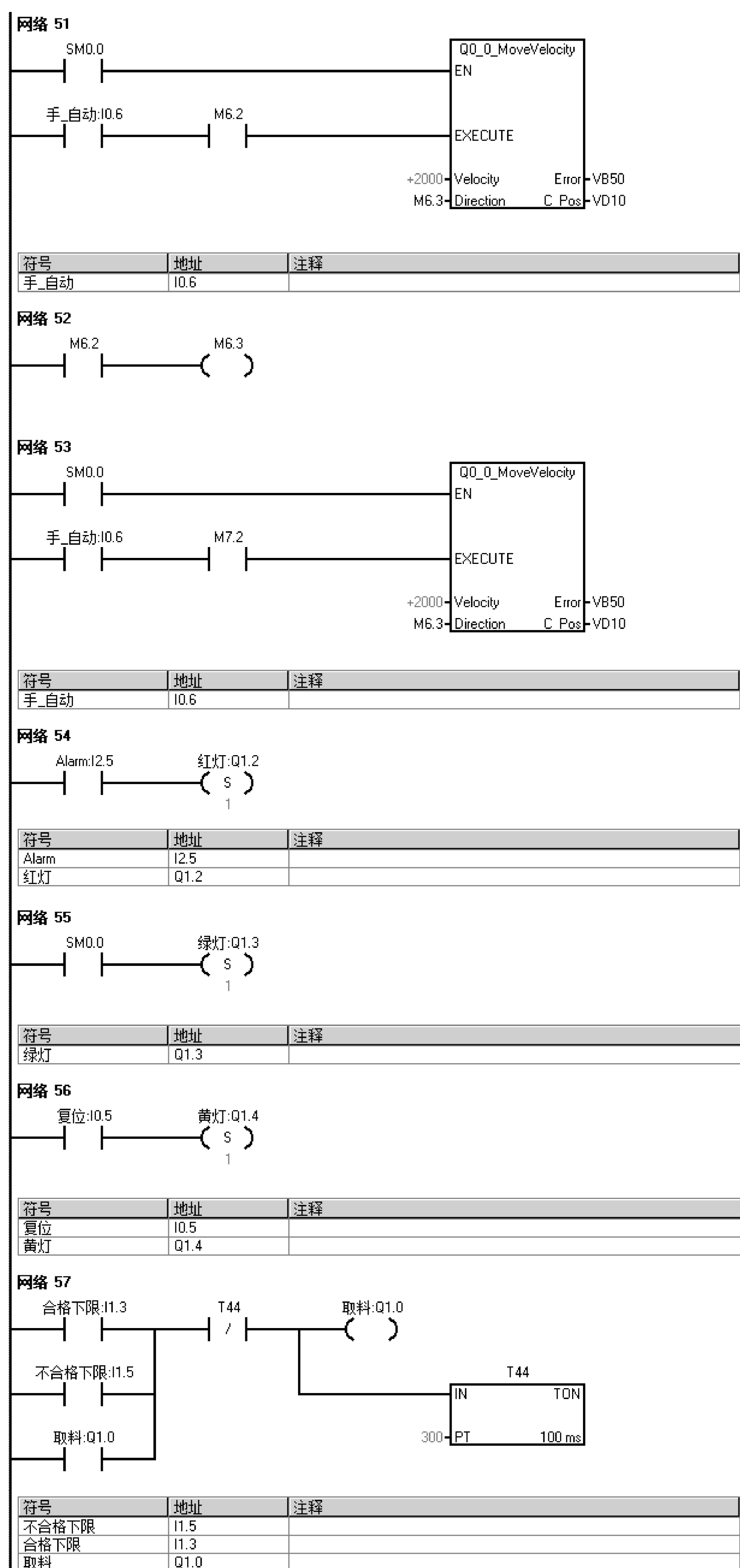

网络 45
SM0.0
Q0_0_MoveAbsolute
EN
M3.2
P
EXECUTE
M2.1
+0
Position
Done
M9.4
+2000
Velocity
网络 46
SM0.0
Q0_0_Stop
EN
M9.4
P
EXECUTE
Done
M3.3
网络 47
M0.0
电磁阀（下行）:Q0.4
M0.5
M1.6
M2.7
手_自动:I0.6
M6.0
符号 地址 注释
电磁阀（下行） Q0.4
手_自动 I0.6
网络 48
M0.2
电磁阀（上行）:Q0.5
M1.3
M2.0
M2.4
M3.1
手_自动:I0.6
M6.1
符号 地址 注释
电磁阀（上行） Q0.5
手_自动 I0.6
网络 49
M0.1
电磁阀（真空發:Q0.6
S
1
M1.2
M2.3
符号 地址 注释
电磁阀（真空发生... Q0.6
网络 50
M0.6
电磁阀（真空發:Q0.6
R
1
M1.7
M3.0
符号 地址 注释
电磁阀（真空发生... Q0.6

图 3-43　梯形图（续）



网络 51
SM0.0
Q0_0_MoveVelocity
EN
手_自动:I0.6
M6.2
EXECUTE
+2000
Velocity
Error
VB50
M6.3
Direction
C_Pos
VD10
符号 地址 注释
手_自动 I0.6
网络 52
M6.2
M6.3
网络 53
SM0.0
Q0_0_MoveVelocity
EN
手_自动:I0.6
M7.2
EXECUTE
+2000
Velocity
Error
VB50
M6.3
Direction
C_Pos
VD10
符号 地址 注释
手_自动 I0.6
网络 54
Alarm:I2.5
红灯:Q1.2
S
1
符号 地址 注释
Alarm I2.5
红灯 Q1.2
网络 55
SM0.0
绿灯:Q1.3
S
1
符号 地址 注释
绿灯 Q1.3
网络 56
复位:I0.5
黄灯:Q1.4
S
1
符号 地址 注释
复位 I0.5
黄灯 Q1.4
网络 57
合格下限:I1.3
T44
取料:Q1.0
不合格下限:I1.5
T44
IN
TON
取料:Q1.0
300
PT
100 ms
符号 地址 注释
不合格下限 I1.5
合格下限 I1.3
取料 Q1.0

图 3-43　梯形图（续）

Sinamics S120 产品包括：用于共直流母线的 DC/AC 逆变器和用于单轴的 AC/AC 变频器。共直流母线的 DC/AC 逆变器通常又称为 Sinamics S120 多轴驱动器，其结构形式为电源模块和电动机模块分开，一个电源模块将三相交流电整流成 540V 或 600V 的直流电，将电动机模块（一个或多个）都连接到该直流母线上，特别适用于多轴控制，尤其是造纸、包装、纺织、印刷和钢铁等行业。其优点是各电动机轴之间的能量共享，接线方便、简单。单轴控制的 AC/AC 变频器，通常又称为 Sinamics S120 单轴交流驱动器，其结构形式为电源模块和电动机模块集在一起，特别适用于单轴的速度和定位控制。

本部分只介绍 Sinamics S120 单轴交流驱动器。Sinamics S120 AC/AC 单轴驱动器由两部分组成：控制单元和功率模块。具体如下：

（1）控制单元有三种形式：CU310DP、CU310 PN 和 CUA31

CU310DP 是驱动器通过 PROFIBUS－DP 与上位的控制器相连。

CU310PN 是驱动器通过 PROFINET 与上位的控制器相连。

CUA31 是控制单元的适配器，通过 Drive－CLiQ 与 CU320 或 Simotion D 相连。

（2）功率模块有模块型和装机装柜型两种形式

模块型：其功率范围从 0.12～90 kW，其进线电压有单相（200～240 V）及三相（380～480 V）两种规格。

装机装柜型：其功率范围从 110～250 kW，其进线电压为三相（380～480 V）。

2. 用 S7-300 控制 Sinamics S120

以下用一个例子介绍使用现场总线控制西门子伺服电系统 Sinamics S120。

【例 3-6】某设备上有一套 CU310DP 伺服驱动系统，要求：对伺服进行调速。请编写程序。

解：

（1）软硬件配置

① 1 套 STEP7 V5.5 SP3。

② 1 套 STARTER 4.1（或者 SCOUT）。

③ 1 套 CU310DP 伺服系统。

④ 1 台 CPU314C－2DP。

⑤ 1 根 PROFIBUS 屏蔽双绞线。

⑥ 1 块 CP5611 卡。

系统的硬件配置如图 3-44 所示，图中的 X22 口是 RS-232 母头，是 Sinamics S120 与计算机或者 PLC 通信的接口。

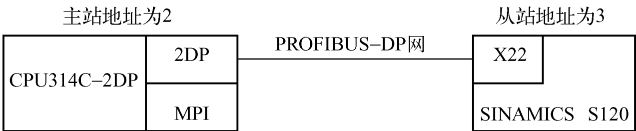


图 3-44　硬件配置图

（2）伺服系统参数的设置

① 设置伺服驱动器的站地址。从图 3-44 可知，本例伺服系统的站地址设置为 3。伺服

驱动器上有一排拨钮用于设置地址，每个拨钮对应一个“8－4－2－1”码的数据，所有的拨钮处于“ON”位置对应的数据相加的和就是站地址。拨钮示意图如图 3-45 所示，拨钮 1 和 2 处于“ON”位置，所以对应的数据为 1 和 2；而拨钮 3、拨钮 4、拨钮 5 和拨钮 6 处于“OFF”位置，所对应的数据为 0，站地址为 1＋2＋0＋0＋0＋0＝3。这个设置方法与 MM440 变频器的站地址设置是一样的，因为实际上 Sinamics S120 也是变频器。

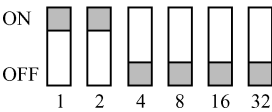


图 3-45　拨钮示意图

【关键点】图 3-45 设置的站地址 3，必须和 STEP7 软件中硬件组态的地址保持一致，否则不能通信。此外，设置完成后必须断电，设置的地址才能起作用。

② 打开软件 STARTER，新建工程。在打开 STARTER 工程前，计算机中要首先安装 STARTER 软件，此软件不需要授权，可直接从西门子的网站上下载，若使用 SCOUT 则需要购买授权。打开 STARTER 软件，如图 3-46 所示，再单击工具栏上的“新建”按钮，弹出如图 3-47 所示的界面，将工程命名为“SERVER2”，最后单击“OK”按钮。

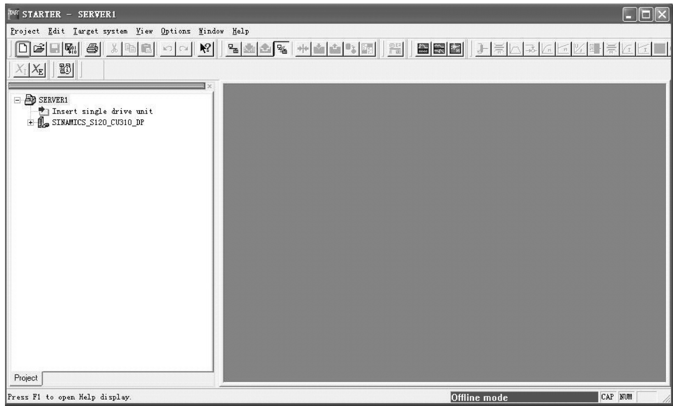


图 3-46　新建工程

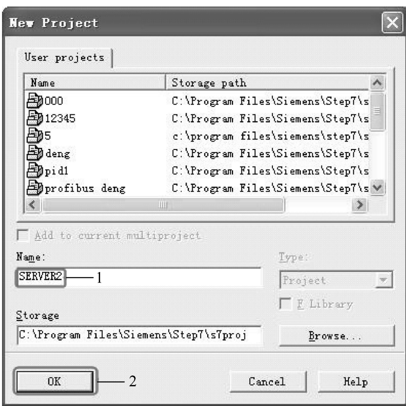


图 3-47　工程命名

③ 设置 PC 与 Sinamics S120 通信的路径。先选中“SERVER2”，再在菜单中单击“Options→Set PG/PC Interface”，弹出“Set PG/PC Interface”界面，选中“CP5611（PROFIBUS）”选项，最后单击“OK”按钮，如图 3-48 所示。

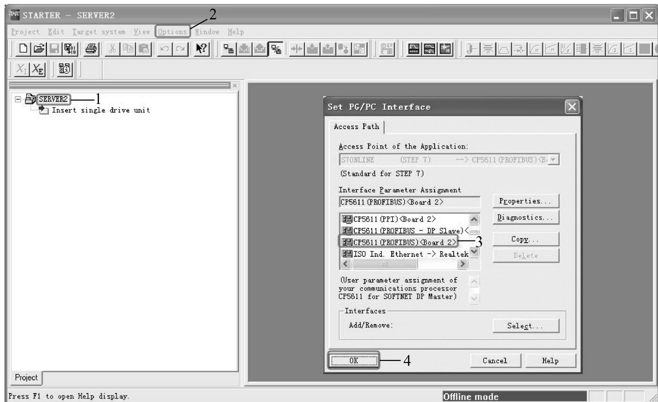


图 3-48　设置 PC 与 Sinamics S120 通信的路径

④ 将 PG（编程器）与 Sinamics S120 连接起来。先单击工具栏中的“connect to target system”（连接）按钮，再单击“Yes”按钮，STARTER 自动寻找可连线的目标，如图 3-49 所示。当 STARTER 找到目标时弹出如图 3-50 所示的界面，选中找到的目标（其地址为 3），这个目标就是要连接的 Sinamics S120，再单击“Accept”（接受）按钮。

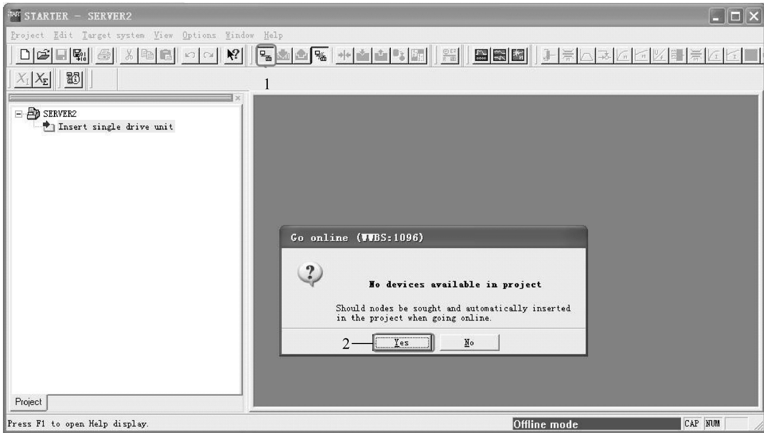


图 3-49　将 PC（编程器）与 Sinamics S120 连接起来（1）

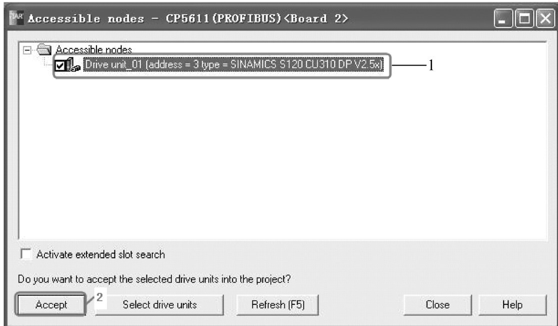


图 3-50　将 PC（编程器）与 Sinamics S120 连接起来（2）

⑤ 配置驱动器系统。驱动器系统参数的配置可以手动配置，也可以自动配置。手动配置较麻烦，因此推荐用自动配置。如图 3-51 所示，当将 PG 与 Sinamics S120 连接起来后，

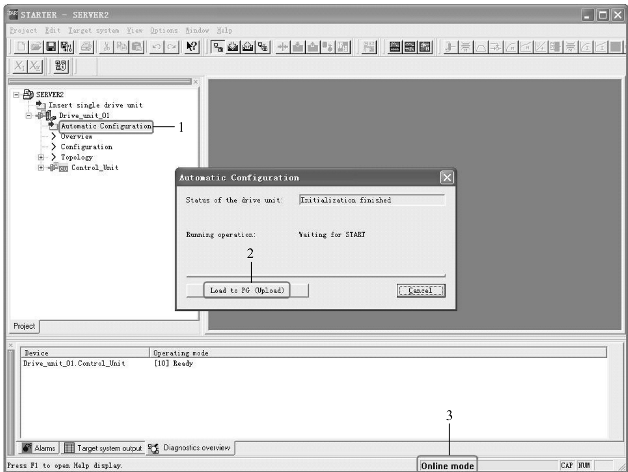


图 3-51　自动配置驱动器系统

可以看到“3”处的字是“Online mode”(在线模式)，选中并双击“Automatic configuration”(自动配置)，再单击“Load to PG”（上载到编程器)，弹出上载状态界面，如图 3-52 所示。当上载结束后，伺服系统的参数自动上传到编程器（PG）中。

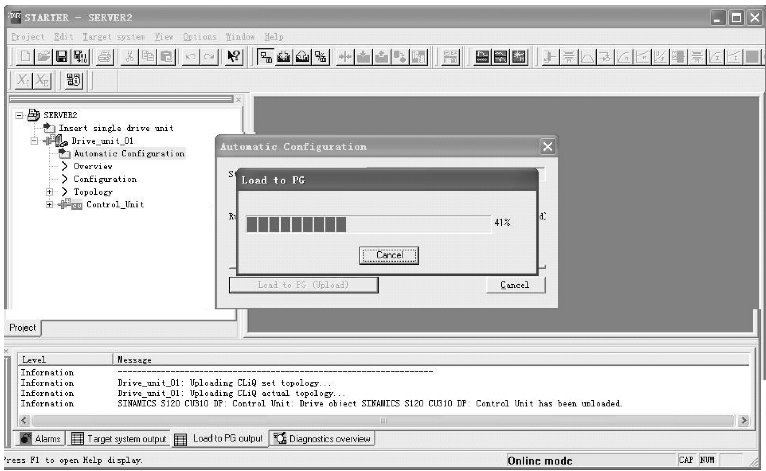


图 3-52　上载状态

⑥ 设置通信报文类型。先选中“PROFIBUS”，再选中“PROFIBUS message frame”选项卡，在“Message frame type”（通信报文类型)，选定“Standard telegram 1”（通信报文 1)，如图 3-53 所示。

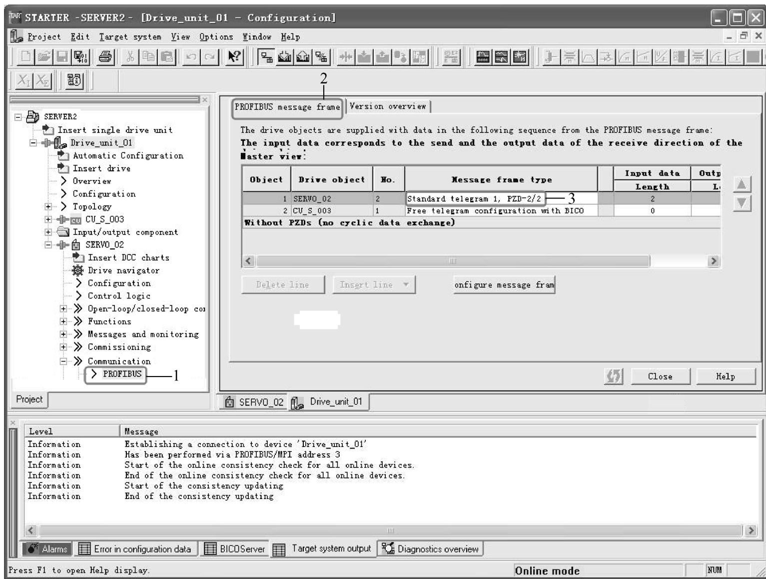


图 3-53　设置通信报文类型

⑦ 将 RAM 的数据复制到 ROM 中。先选中“Drive_unit_01”，再单击“Copy RAM to ROM”（将 RAM 的数据复制到 ROM）按钮，如图 3-54 所示。当数据复制完成后，再单击“Disconnect from target system”（离线）按钮，这样 PG 和 Sinamics S120 通信连接断

开。断电后，将两者的通信电缆拔下，再将 S7-300 的 DP 口与 Sinamics S120 的 X22 口用屏蔽双绞线（含两只网络连接器）相连。

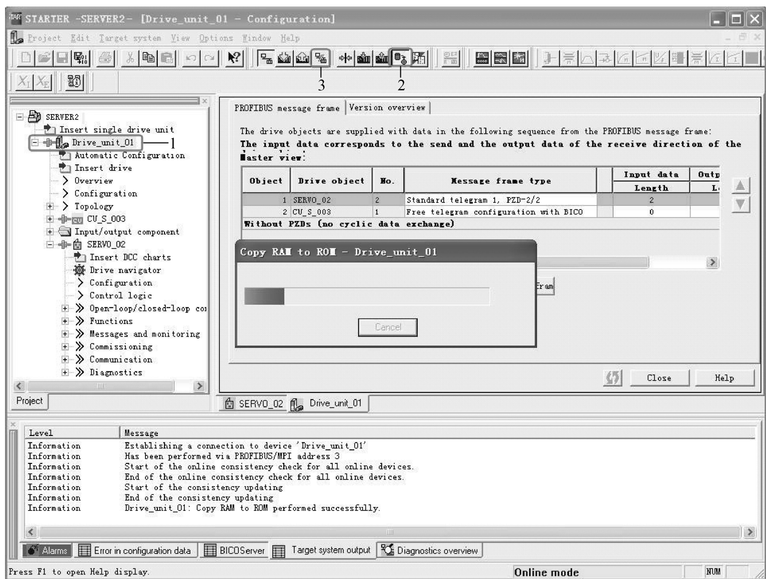


图 3-54　将 RAM 的数据复制到 ROM 中

【关键点】 图 3-54 中的通信报文设置与 S7-300 中的报文设置要一致，否则通信不能成功。此外，必须将 RAM 的数据复制到 ROM 中，否则设置的报文就不能起作用。

（3）S7-300 的硬件组态

① 新建工程，并进行硬件组态。新建工程，命名为“314C-CU310-01”，如图 3-55 所示。

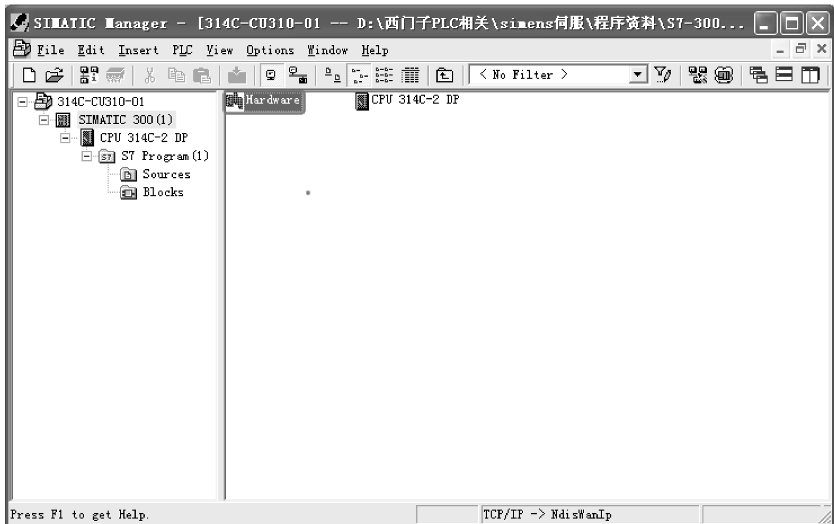


图 3-55　新建工程

② 将 Sinamics S120 挂到 PROFIBUS 总线上。将界面切换到硬件组态上，先选中“1”处，再双击“Sinamics S”，如图 3-56 所示，Sinamics S120 挂到 PROFIBUS 总线上。

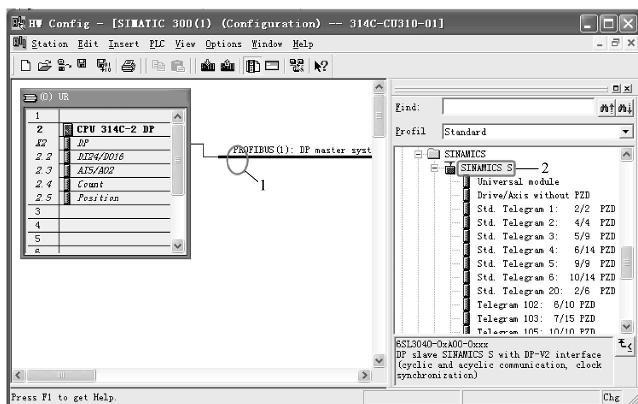


图 3-56　将 Sinamics S120 挂到 PROFIBUS 总线上

③ 设置 Sinamics S120 的站地址。先选中 PROFIBUS 网络，再设置 Sinamics S120 的站地址为“3”。注意，这个地址与用拨码开关设置的 Sinamics S120 的地址要一致，最后单击“OK”按钮，如图 3-57 所示。

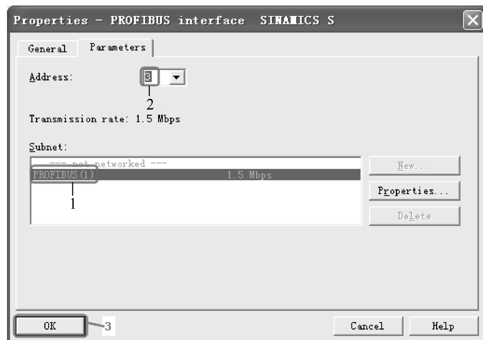


图 3-57　设置 Sinamics S120 站地址

④ 设置 Sinamics S120 的报文格式。先选中 Sinamics S120，再双击“Std. Telegam 1：2/2 PZD”（报文 1），如图 3-58 所示，再编译保存硬件组态。注意，此处的报文格式要与图 3-53 中的“3”处一致。

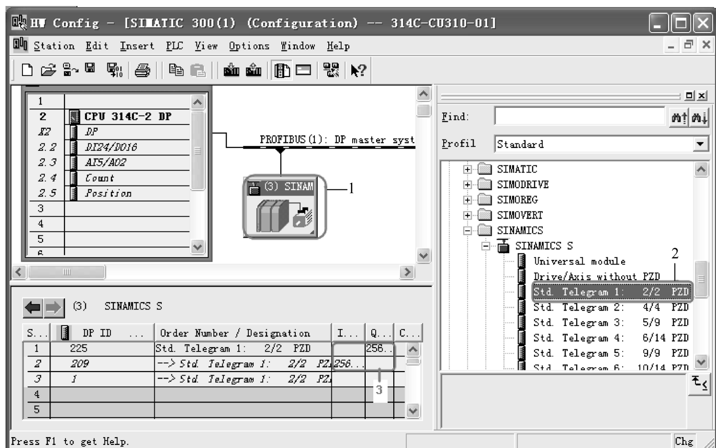


图 3-58　设置 Sinamics S120 的报文格式

（4）编写程序

① 插入数据块 DB2 和参数表 VAT_1。选中块 OB1，插入数据块 DB2 和参数表 VAT_1，如图 3-59 所示。

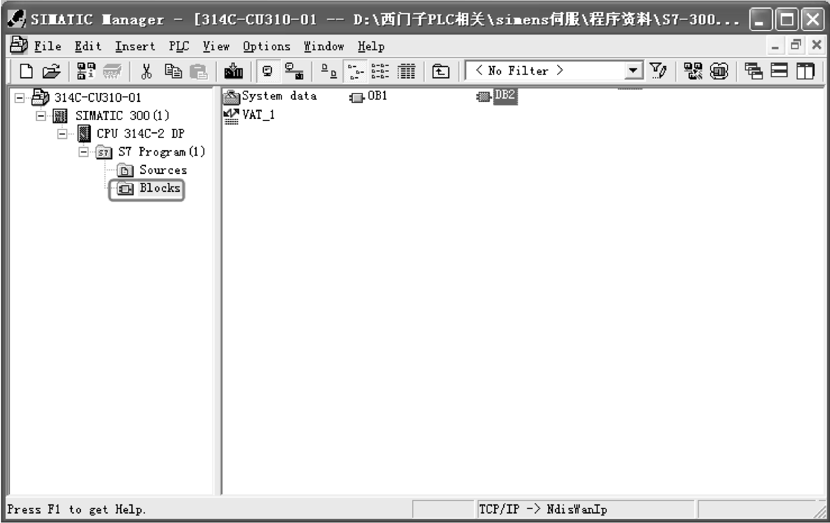


图 3-59　插入数据块 DB2 和参数表 VAT_1

② 在 DB2 中创建数组。打开数据块 DB2，并在 DB2 中创建数组 ARRAY[1..5]，如图 3-60 所示。用同样的方法创建数据块 DB1，并在 DB1 中创建数组 ARRAY[1..5]。

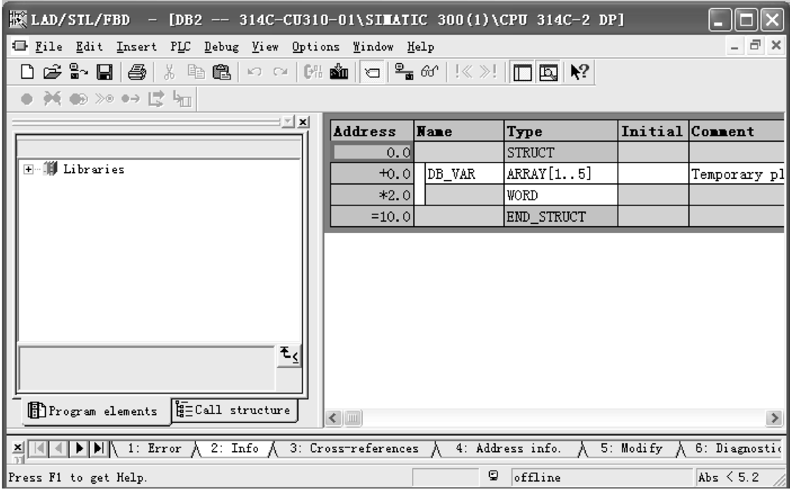


图 3-60　创建数组

③ 参数表赋值。打开参数表，输入如图 3-61 所示的参数和参数值。注意，“W#16#047E”的含义和“W#16#1000”的含义可参考 5.4.3，在此不作赘述。而 M0.0 是启动的开关，图中是“false”（假），当参数表处于监控状态时，可将其修改为“true”（真），伺服电动机以一定的速度运行。

Var - [VAT_1 -- 314C-CU310-01\SIMATIC 300(1)\CPU 314C-2 DP\S7 ...

Table Edit Insert PLC Variable View Options Window Help

	Address		Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	DB2.DBW	0		HEX	W#16#0E7F	W#16#047E
2	DB2.DBW	2		HEX	W#16#1000	W#16#1000
3	M	1.0		BOOL		true
4	DB1.DBW	0		HEX		
5	DB1.DBW	2		HEX		
6						

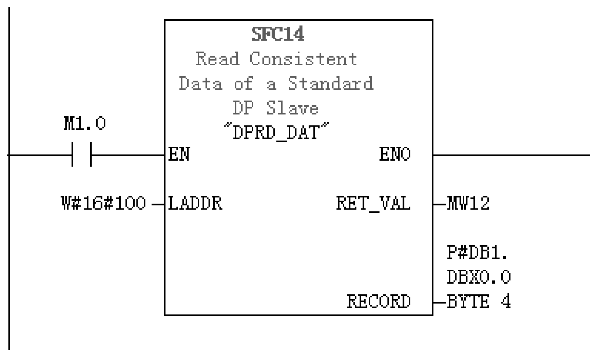
Press F1 for help. Offline Abs < 5.2

图 3-61　参数表赋值

④ 编写程序。按照图 3-62 编写程序，函数 SFC14/15 的具体用法可参考第 5 章 5.4.3，注意 M1.0 和 M1.1 是脉冲时才有效。

程序段 1：标题：

接收来自伺服驱动器的信息读入到DB1.DBB0开始的4个字节；



程序段 2：标题：

将DB1.DBB24开始的4个字节写入到伺服驱动器中；

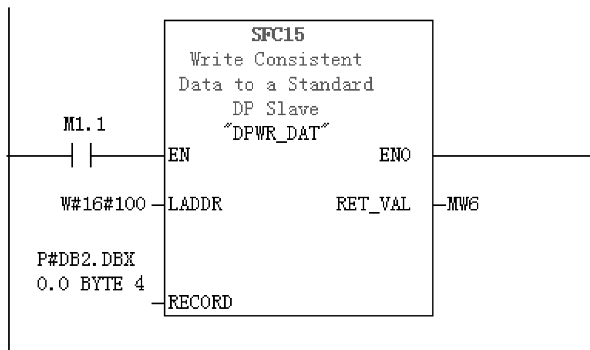


图 3-62　OB1 中的程序

（5）下载和调试

将编译后的硬件、程序、数据块和参数表全部下载到 CPU 314C－2DP 中，注意不能缺少其中任何一个。单击参数表中的“参数监控”按钮，使参数表处于监控状态，再将 M1.0 的参数 false 改为 true，最后单击“更新参数”按钮，更新参数，伺服电动机旋转。DB1 中显示伺服驱动反馈的参数，如图 3-63 所示。

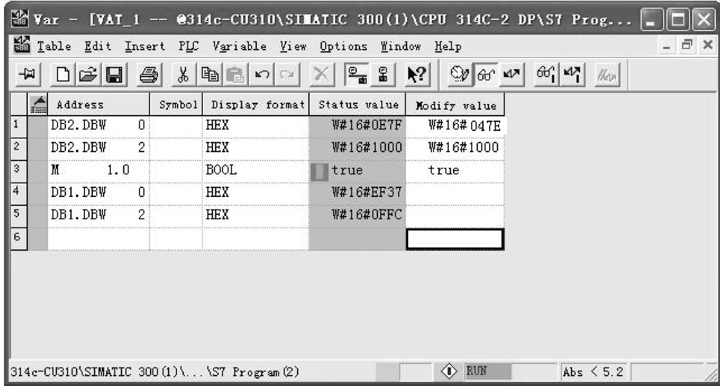


图 3-63　参数表处于监控状态

西门子的伺服系统功能强大，需要设置的参数多，因此使用比较复杂，建议读者参考相关说明书。若读者已经熟悉使用西门子的变频器，那么无疑有利于读者掌握西门子的伺服系统，因为西门子的变频器和伺服系统有许多共同之处。

第 4 章　PLC 的通信及其通信模块的应用

本章主要介绍 S7-200、S7-1200 和 S7-300/400 PLC 的通信及其通信模块的应用。具体内容有 S7-200 PLC 的 PPI 通信、S7-200 PLC 的自由口通信和 S7-200 PLC 的 Modbus 通信；S7-200 和 S7-300 PLC 的 PROFIBUS 现场总线通信、MPI 通信；S7-200、S7-1200 和 S7-300/400 PLC 的工业以太网通信和 Modbus 通信，等等。本章的内容较多，而且相对较复杂。

4.1　通信基础知识

PLC 的通信包括 PLC 与 PLC 之间的通信、PLC 与上位计算机之间的通信以及和其他智能设备之间的通信。PLC 与 PLC 之间通信的实质就是计算机的通信，使得众多独立的控制任务构成一个控制工程整体，形成模块控制体系。PLC 与计算机连接组成网络，将 PLC 用于控制工业现场，计算机用于编程、显示和管理等任务，构成“集中管理、分散控制”的分布式控制系统（DCS）。

4.1.1　通信的基本概念

1. 串行通信与并行通信

串行通信和并行通信是两种不同的数据传输方式。

串行通信就是通过一对导线将发送方与接收方进行连接，传输数据的每个二进制位，按照规定顺序在同一导线上依次发送与接收。例如，常用的优盘 USB 接口就是串行通信。串行通信的特点是通信控制复杂，通信电缆少，因此与并行通信相比，成本低。

并行通信就是将一个 8 位数据（或 16 位、32 位）的每一个二进制位采用单独的导线进行传输，并将传送方和接收方进行并行连接，一个数据的各二进制位可以在同一时间内一次传送。例如，老式打印机的打印口和计算机的通信就是并行通信。并行通信的特点是一个周期里可以一次传输多位数据，其连线的电缆多，因此长距离传送时成本高。

2. 异步通信与同步通信

异步通信与同步通信也称为异步传送与同步传送，这是串行通信的两种基本信息传送方式。从用户的角度上说，两者最主要的区别在于通信方式的“帧”不同。

异步通信方式又称起止方式。它在发送字符时，要先发送起始位，然后是字符本身，最后是停止位，字符之后还可以加入奇偶校验位。异步通信方式具有硬件简单、成本低的特点，主要用于传输速率低于 19.2 kbit/s 以下的数据通信。

同步通信方式在传递数据的同时，也传输时钟同步信号，并始终按照给定的时刻采集数据。其传输数据的效率高、硬件复杂、成本高，一般用于传输速率高于 20 kbit/s 以上的数据通信。

3. 单工、全双工与半双工

单工、双工与半双工是通信中描述数据传送方向的专用术语。

1）单工（Simplex）：指数据只能实现单向传送的通信方式，一般用于数据的输出，不可以进行数据交换。

2）全双工（Full Simplex）：也称双工，指数据可以进行双向数据传送，同一时刻既能发送数据，也能接收数据。通常需要两对双绞线连接，通信线路成本高。例如，RS-422 就是“全双工”通信方式。

3）半双工（Half Simplex）：指数据可以进行双向数据传送，同一时刻，只能发送数据或者接收数据。通常需要一对双绞线连接，与全双工相比，通信线路成本低。例如，RS-485 只用一对双绞线时就是“半双工”通信方式。

4.1.2 PLC 网络的术语解释

PLC 网络中的名词、术语很多，现将常用的予以介绍。

1）站（Station）：在 PLC 网络系统中，将可以进行数据通信、连接外部输入/输出的物理设备称为“站”。例如，由 PLC 组成的网络系统中，每台 PLC 可以是一个“站”。

2）主站（Master Station）：PLC 网络系统中进行数据连接的系统控制站，主站上设置了控制整个网络的参数，每个网络系统只有一个主站，主站号固定为“0”，站号实际就是 PLC 在网络中的地址。

3）从站（Slave Station）：PLC 网络系统中，除主站外，其他的站称为“从站”。

4）远程设备站（Remote Device Station）：PLC 网络系统中，能同时处理二进制位、字的从站。

5）本地站（Local Station）：PLC 网络系统中，带有 CPU 模块并可以与主站以及其他本地站进行循环传输的站。

6）站数（Number of Station）：PLC 网络系统中，所有物理设备（站）所占用的“内存站数”的总和。

7）网关（Gateway）：又称网间连接器、协议转换器。在使用不同的通信协议、数据格式或语言、甚至体系结构完全不同的两种系统之间，网关是一个翻译器。例如，AS-I 网络的信息要传送到由西门子 S7-200 组成的 PPI 网络，就要通过 CP243-2 通信模块进行转换，这个模块实际上就是网关。

8）中继器（Repeater）：用于网络信号放大和调整的网络互联设备，能有效延长网络的连接长度。例如，以太网的正常传送距离是 500 m，经过中继器放大后，可传输 2500 m。

9）网桥（Bridge）：网桥将两个相似的网络连接起来，并对网络数据的流通进行管理。

10）路由器（Router，转发者）：所谓路由就是指通过相互连接的网络把信息从源地点移动到目标地点的活动。

11）交换机（Switch）：交换机是一种基于 MAC 地址识别，能完成封装转发数据包功能的网络设备。交换机可以“学习”MAC 地址，并把其存放在内部地址表中，通过在数据帧的始发者和目标接收者之间建立临时的交换路径，使数据帧直接由源地址到达目的地址。

4.1.3　RS-485 标准串行接口

1. RS-485 接口

RS-485 接口是在 RS-422 基础上发展起来的一种 EIA 标准串行接口，采用“平衡差分驱动”方式。RS-485 接口满足 RS-422 的全部技术规范，可以用于 RS-422 通信。RS-485 接口通常采用 9 针连接器，其外观与引脚定义如图 4-1 所示。RS-485 接口的引脚功能参见表 4-1。



图 4-1　网络接头的外观与引脚定义

表 4-1　RS-485 接口的引脚功能

PLC 侧引脚	信 号 代 号	信 号 功 能
1	SG 或 GND	机壳接地
2	+24 V 返回	逻辑地
3	RXD + 或 TXD +	RS-485 的 B，数据发送/接收 + 端
4	请求 - 发送	RTS（TTL）
5	+5 V 返回	逻辑地
6	+5 V	+5 V
7	+24 V	+24 V
8	RXD - 或 TXD -	RS-485 的 A，数据发送/接收 - 端
9	不适用	10 位协议选择（输入）

2. 西门子的 PLC 连线

西门子 PLC 的 PPI 通信、MPI 通信和 PROFIBUS - DP 现场总线通信的物理层都是 RS-485，而且采用都是相同的通信线缆和专用网络接头。西门子提供两种网络接头，即标准网络接头和包括编程端口接头，可方便地将多台设备与网络连接，编程端口允许用户将编程站或 HMI 设备与网络连接，而不会干扰任何现有网络连接，图 4-2 为不带编程口的网络接头。标准网络接头的编程端口接头均有两套终端螺丝钉，用于连接输入和输出网络电缆。这两种接头还配有开关，可选择网络偏流和终端。图 4-2 显示了电缆接头的普通偏流和终端状况，右端的电阻设置为“on”，而左侧的设置为“off”，图中只显示了一个，若有多个也是这样设置。要将偏流电阻设置“on”或者“off”，只要拨动网络接头上的拨钮即可。图 4-2 中拨钮在“on”一侧，因此偏置电阻已经接入电路。

【关键点】 西门子的专用 PROFIBUS 电缆中有两根线，一根为红色，上标有“B”，一根

为绿色，上面标有“A”，这两根线只要与网络接头上相对应的“A”和“B”接线端子相连即可（如“A”线与“A”接线端相连）。网络接头直接插在 PLC 的通信口上即可，不需要其他设备。注意：三菱的 FX 系列 PLC 的 RS-485 通信要加 RS-485 专用通信模块和终端电阻。

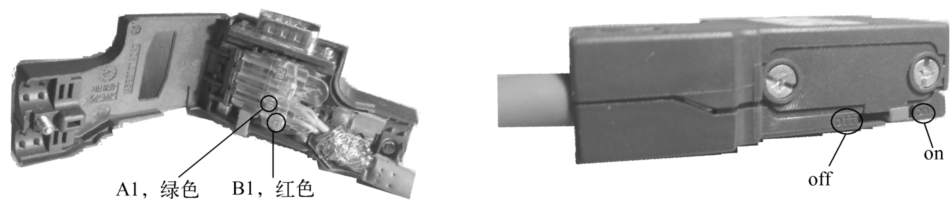


图 4-2　网络接头的偏流电阻设置图

4.1.4　OSI 参考模型

通信网络的核心是 OSI（OSI - Open System Interconnection，开放式系统互联）参考模型。为创建网络标准、实现设备和网络互联规划提供了一个框架。该模型自下而上分为物理层、数据链接层、网络层、传输层、会话层、表示层和应用层。

OSI 的上 3 层通常称为应用层，用来处理用户接口、数据格式和应用程序的访问。下 4 层负责定义数据的物理传输介质和网络设备。OSI 参考模型定义了大多数协议栈共有的基本框架，如图 4-3 所示。

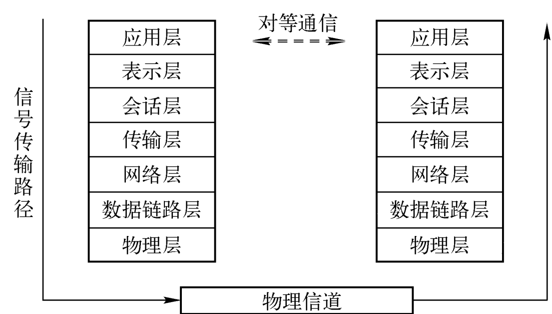


图 4-3　信息在 OSI 模型中的流动形式

1）物理层（Physical Layer）：定义了传输介质、连接器和信号发生器的类型，规定了物理连接的电气、机械功能特性，如电压、传输速率及传输距离等特性。建立、维护、断开物理连接。典型的物理层设备有集线器（HUB）和中继器等。

2）数据链路层（Data Link Layer）：确定传输站点物理地址以及将消息传送到协议栈，提供顺序控制和数据流向控制。建立逻辑连接、进行硬件地址寻址以及差错效验等功能（由底层网络定义协议）。典型的数据链路层的设备有交换机和网桥等。

3）网络层（Network Layer）：进行逻辑地址寻址，实现不同网络之间的路径选择。协议有 ICMP IGMP IP（IPV4 IPV6）、ARP、RARP。典型的网络层设备是路由器。

4）传输层（Transport Layer）：定义传输数据的协议端口号，以及流控和差错效验。协议有 TCP、UDP。网关是互联网设备中最复杂的，它是传输层及以上层的设备。

5）会话层（Session Layer）：建立、管理、终止会话。

6）表示层（Presentation Layer）：数据的表示、安全、压缩。

7）应用层（Application）：网络服务与最终用户的一个接口。协议有 HTTP、FTP、TFTP SMTP、SNMP、DNS。

数据经过封装后通过物理介质传输到网络上，接收设备除去附加信息后，将数据上传到上层堆栈层。

4.1.5 SIMATIC NET 工业网络

SIMATIC NET 是西门子工业通信网络解决方案的总称。SIMATIC 中的网络如图 4-4 所示。

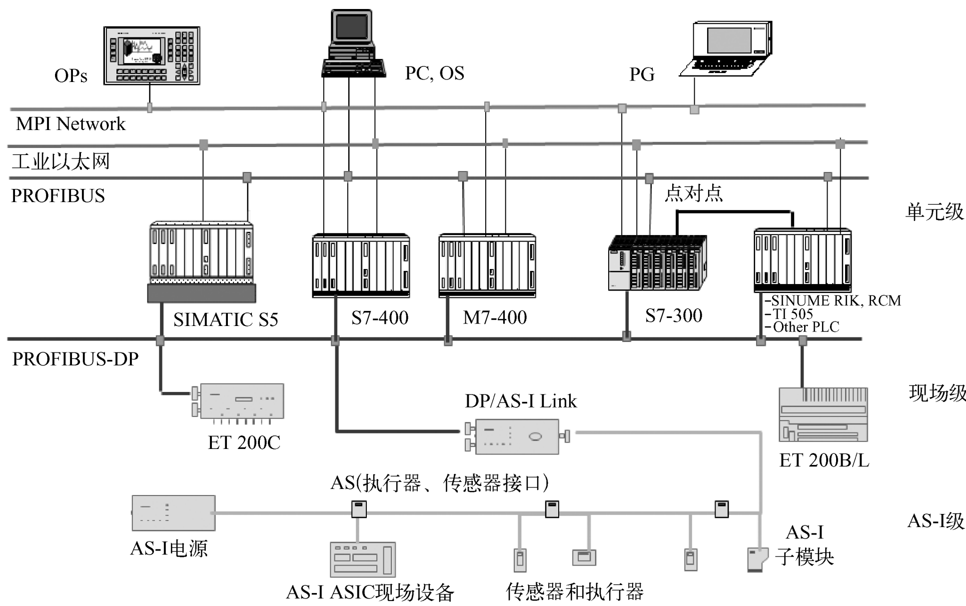


图 4-4　SIMATIC 中的网络

1. 西门子通信网络技术说明

（1）MPI 通信

MPI（Multi-Point Interface，即多点接口）协议，用于小范围、少点数的现场级通信。MPI 是为 S7/M7/C7 系统提供接口，它设计用于编程设备的接口，也可用于在少数 CPU 间传递少量的数据。

（2）PROFIBUS 通信

PROFIBUS 符合国际标准 IEC61158，是目前国际上通用的现场总线中 20 大现场总线之一，并以独特的技术特点、严格的认证规范、开放的标准和众多的厂家支持，成为现场级通信网络的优秀解决方案，目前其全球网络节点已经突破 3000 万个。

从用户的角度看，PROFIBUS 提供三种通信协议类型：PROFIBUS-FMS、PROFIBUS-DP 和 PROFIBUS-PA。

1）PROFIBUS-FMS（Fieldbus Message Specification，现场总线报文规范），主要用于系

统级和车间级的不同供应商的自动化系统之间传输数据，处理单元级（PLC 和 PC）的多主站数据通信。目前，PROFIBUS-FMS 已经很少使用。

2）PROFIBUS-DP（Decentralized Periphery，分布式外部设备），用于自动化系统中单元级控制设备与分布式 I/O（例如 ET200）的通信。主站之间的通信为令牌方式，主站与从站之间为主从方式，以及这两种方式的混合。

3）PROFIBUS-PA（Process Automation，过程自动化）用于过程自动化的现场传感器和执行器的低速数据传输，使用扩展的 PROFIBUS-DP 协议。

（3）工业以太网

工业以太网符合 IEEE802.3 国际标准，是功能强大的区域和单元网络，是目前工控界最为流行的网络通信技术之一。

（4）点对点连接

严格地说，点对点（Point-to-Point）连接并不是网络通信。但点对点连接可以通过串口连接模块实现数据交换，应用比较广泛。

（5）AS-Interface

传感器/执行器接口用于自动化系统最底层的通信网络。它专门用来连接二进制的传感器和执行器，每个从站的最大数据量为 4 bit。

4.2 现场总线概述

4.2.1 现场总线的概念

1. 现场总线的诞生

现场总线是 20 世纪 80 年代中后期在工业控制中逐步发展起来的。随着微处理器技术的发展，其功能不断增强，而成本不断下降。计算机技术飞速发展，同时计算机网络技术也迅速发展起来了。计算机技术的发展为现场总线的诞生奠定了技术基础。

智能仪表的出现为现场总线的诞生奠定了应用基础。

2. 现场总线的概念

国际电工委员会（IEC）对现场总线（Fieldbus）的定义为：一种应用于生产现场、在现场设备之间、现场设备和控制装置之间实行双向、串行、多节点的数字通信网络。

工业以太网是用于工业现场的以太网，一般采用交换技术，即交换式以太网技术。工业以太网以 TCP/IP 协议为基础，与串行通信的技术体系是不同的。

现场总线包括狭义现场总线和工业以太网。

4.2.2 主流现场总线简介

1984 年国际电工技术委员会/国际标准协会（IEC/ISA）就开始制定现场总线的标准，然而统一的标准至今仍未完成。很多公司推出其各自的现场总线技术，但彼此的开放性和互操作性难以统一。

经过 12 年的讨论，终于在 1999 年的年底通过了 IEC61158 现场总线标准，这个标准容纳了 8 种互不兼容的总线协议。后来又经过不断讨论和协商，在 2003 年 4 月，IEC61158

Ed. 3 现场总线标准第 3 版正式成为国际标准，确定了 10 种不同类型的现场总线为 IEC61158 现场总线。2007 年 7 月，第 4 版现场总线增加到 20 种，新增的现场总线中，工业以太网就有 7 个，见表 4–2。

表 4–2　IEC61158 的现场总线

类型编号	名　　称	发起的公司
Type 1	TS61158 现场总线	原来的技术报告
Type 2	ControlNet 和 Ethernet/IP 现场总线	美国 Rockwell 公司
Type 3	PROFIBUS 现场总线	德国 Siemens 公司
Type 4	P – NET 现场总线	丹麦 Process Data 公司
Type 5	FF HSE 现场总线	美国 Fisher Rosemount 公司
Type 6	SwiftNet 现场总线	美国波音公司
Type 7	World FIP 现场总线	法国 Alstom 公司
Type 8	INTERBUS 现场总线	德国 Phoenix Contact 公司
Type 9	FF H1 现场总线	现场总线基金会
Type 10	PROFINET 现场总线	德国 Siemens 公司
Type 11	TC net 实时以太网	
Type 12	Ether CAT 实时以太网	德国倍福
Type 13	Ethernet Powerlink 实时以太网	法国 Alstom 公司
Type 14	EPA 实时以太网	中国浙大、沈阳所等
Type 15	Modbus RTPS 实时以太网	法国施耐德公司
Type 16	SERCOS I、II 现场总线	数字伺服和传动系统数据通信
Type 17	VNET/IP 实时以太网	法国 Alstom 公司
Type 18	CC – Link 现场总线	日本三菱电机公司
Type 19	SERCOS III 现场总线	数字伺服和传动系统数据通信
Type 20	HART 现场总线	美国 Rosemount 公司

4.2.3　现场总线的特点

现场总线系统打破了传统控制系统采用的按控制回路要求、设备一对一的分别进行连线的结构形式。将原先 DCS 中处于控制室的控制模块和各输入输出模块放入现场设备，加上现场设备具有通信能力，因而控制系统功能可以不依赖控制室中的计算机或控制仪表，而直接在现场完成，实现了彻底的分散控制。

现场总线控制系统既是一个开放通信网络，又是一种全分布控制系统。它把作为网络节点的智能设备连接成自动化网络系统，实现了基础控制、补偿计算、参数修改、报警、显示、监控及优化的综合自动化功能，是一项以智能传感器、控制、计算机、数字通信和网络为主要内容的综合技术。

现场总线系统具有以下特点：

1）系统具有开放性和互用性。

2）系统功能自治性。

3）系统具有分散性。
4）系统具有对环境的适应性。

4.2.4 现场总线的现状

现场总线的现状如下：
1）多种现场总线并存。
2）各种总线都有其应用的领域。
3）每种现场总线都有其国际组织和支持背景。
4）多种总线成为国家和地区标准。
5）设备制造商参与多个总线组织。
6）各个总线彼此协调共存。

4.2.5 现场总线的发展

现场总线技术是控制、计算机和通信技术的交叉与集成，几乎涵盖了连续和离散工业领域，如过程自动化、制造加工自动化、楼宇自动化以及家庭自动化等。它的出现和快速发展体现了控制领域对降低成本、提高可靠性、增强可维护性和提高数据采集智能化的要求。现场总线技术的发展趋势体现在如下四个方面：
1）统一的技术规范与组态技术是现场总线技术发展的一个长远目标。
2）现场总线系统的技术水平将不断提高。
3）现场总线的应用将越来越广泛。
4）工业以太网技术将逐步成为现场总线技术的主流。

4.3 PPI 通信

4.3.1 PPI 协议简介

1. 初识 PPI 协议

PPI 是一个主从协议，主站向从站发出请求，从站作出应答。从站不主动发出信息，而是等候主站向其发出请求或查询，要求应答。主站通过由 PPI 协议管理的共享连接与从站通信。PPI 不限制能够与任何一台从站通信的主站数目，但是无法在网络中安装 32 台以上的主站。

PPI 高级协议允许网络设备在设备之间建立逻辑连接。若使用 PPI 高级协议，每台设备可提供的连接数目有限。表 4-3 显示了 S7-200 提供的连接数目。PPI 协议目前还没有公开。

表 4-3 S7-200 提供的连接数目

模 块	端 口	波 特 率	连 接
S7-200 CPU	端口 0	9.6 kBaud、19.2 kBaud 或 184.8 kBaud	4 个
	端口 1	9.6 kBaud、19.2 kBaud 或 184.8 kBaud	4 个
EM 277 模块		9.6 kBaud ~ 12 MBaud	每个模块 6 个

如果在用户程序中启用PPI主站模式，S7-200 CPU可在处于RUN（运行）模式时用作主站。启用PPI主站模式后，可以使用“网络读取”（NETR）或“网络写入”（NETW）指令从其他S7-200 CPU读取数据或向S7-200 CPU写入数据。S7-200用作PPI主站时，作为从站应答来自其他主站的请求。可以使用PPI协议与所有的S7-200 CPU通信。如果与EM 277通信，必须启用“PPI高级协议”。

2. 网络读写指令的格式

网络读取（NETR）指令，通过指定的端口（PORT）根据表格（TBL）定义从远程设备收集数据。NETR指令可从远程站最多读取16个字节信息。网络写入（NETW）指令通过指定的端口（PORT）根据表格（TBL）定义向远程设备写入数据。NETW指令可向远程站最多写入16个字节信息。可在程序中保持任意数目的NETR/NETW指令，但在任何时间最多只能有8条NETR和NETW指令被激活。例如，在特定S7-200中的同一时间可以有4条NETR和4条NETW指令（或者2条NETR和6条NETW指令）处于现用状态。网络读写指令格式见表4-4。

表4-4　网络读写指令格式

LAD	STL	说　明
NETR EN　ENO TBL PORT	NETR，TBL，PORT	网络写读令 TBL：参数表的起始地址VB，数据类型为字节 PORT：端口号，取值是0、1
NETW EN　ENO TBL PORT	NETW，TBL，PORT	网络写指令 TBL：参数表的起始地址VB，数据类型为字节 PORT：端口号，取值是0、1

如果功能返回出错信息，状态字中的E位位置。要启动“网络读取/网络写入指令向导”，选择“工具→指令向导”菜单命令，然后从“指令向导”对话框中选择“网络读取/网络写入”。网络读写指令格式见表4-4。

网络读写指令具有相似的数据缓冲区，缓冲区以一个状态字起始。主站的数据缓冲区如图4-5所示。远程站的数据缓冲区如图4-6所示。

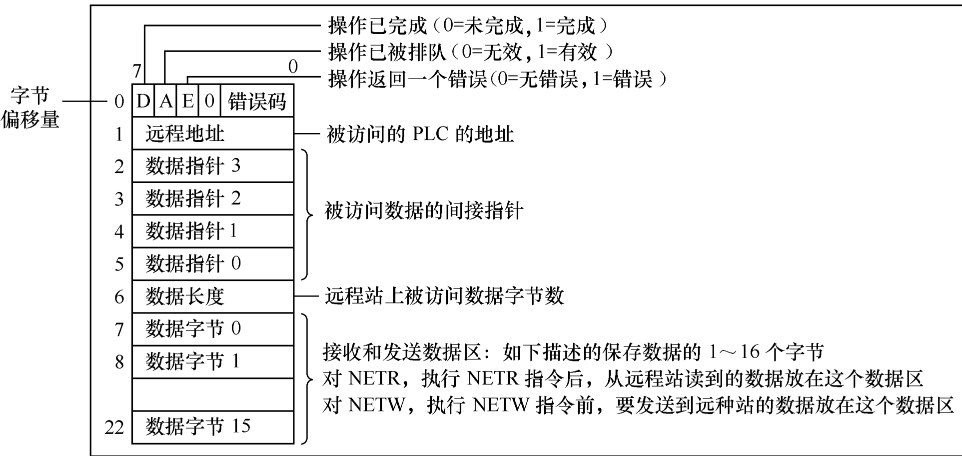


图4-5　主站的数据缓冲区

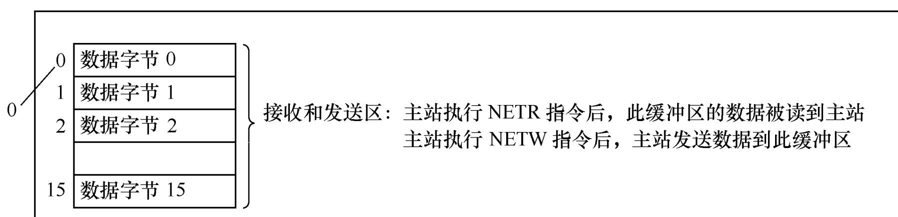


图 4-6　远程站的数据缓冲区

3. PPI 主站的定义

PLC 用特殊寄存器的字节 SMB30（对 PORT0，端口 0）和 SMB130（对 PORT1，端口 1）定义通信口。控制位的定义如图 4-7 所示。

① 通信模式由控制字的最低的两位“mm”决定。

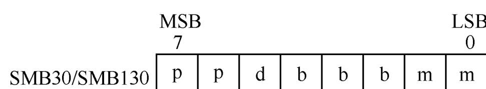


图 4-7　控制位的定义

- mm＝00：PPI 从站模式（默认这个数值）。
- mm＝01：自由口模式。
- mm＝10：PPI 主站模式。

所以，只要将 SMB30 或 SMB130 赋值为 2#10，即可将通信口设置为 PPI 主站模式。

② 控制位的“pp”是奇偶校验选择。

- pp＝00：无校验。
- pp＝01：偶校验。
- pp＝10：无校验。
- pp＝10：奇校验。

③ 控制位的“d”是字符的数据位选择。

- d＝0：每个字符 8 位。
- d＝1：每个字符 7 位。

④ 控制位的“bbb”是波特率选择。

- bbb＝000：38400 bit/s。
- bbb＝001：19200 bit/s。
- bbb＝010：9600 bit/s。
- bbb＝011：4800 bit/s。
- bbb＝100：2400 bit/s。
- bbb＝101：1200 bit/s。
- bbb＝110：600 bit/s。
- bbb＝111：300 bit/s。

4.3.2　S7-200 PLC 之间的 PPI 通信

以下用一个实例介绍两台 S7-200 PLC 通信的方法。

【例 4-1】某设备的第一站和第二站上的控制器是 CPU 226CN，两个站组成一个 PPI 网络，其中，第一站的 PLC 为主站，第二站的 PLC 为从站。其工作任务是：当按下主站上的按钮 SB1 时，从站上的灯亮。请编写程序。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 2 台 CPU 226CN。

③ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）如图 4-8 所示，PPI 通信硬件配置图如图 4-9 所示。

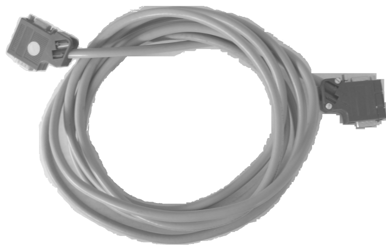


图 4-8　PROFIBUS 网络电缆

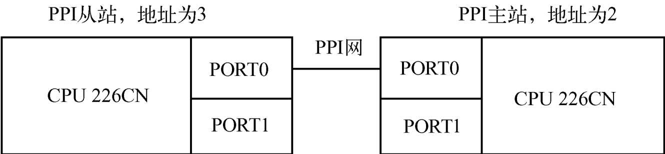


图 4-9　PPI 通信硬件配置图

2. 硬件配置过程

（1）选择“NETR/NETW”

首先单击工具条中的“指令向导”按钮，弹出“指令向导”对话框，如图 4-10 所示，选中“NETR/NETW”选项，单击“下一步”按钮。

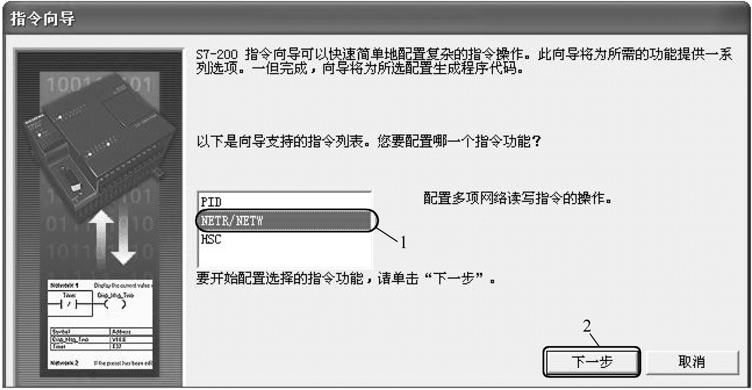


图 4-10　选择“NETR/NETW”

（2）指定需要的网络操作数目

在图 4-11 所示的界面中设置需要进行多少网络读写操作，由于本例比较简单，设为“1”即可，单击“下一步”按钮。

（3）指定端口号和子程序名称

由于 CPU226 有 0 和 1 两个通信口，网络连接器插在哪个端口，配置时就选择哪个端口，子程序的名称可以不做更改，因此在图 4-12 所示的界面中直接单击“下一步”按钮。

（4）指定网络操作

图 4-13 所示的界面相对比较复杂，需要设置 5 项参数。在图中的位置选择“NETW”（网络写），因为本例中只要求主站把信息送到从站；在位置“2”输入 1，因为只有 1 个开

关量信息；在位置“3”输入3，因为第三站的地址为“3”；位置“4”和位置“5”保持默认值，然后单击“下一步”按钮。

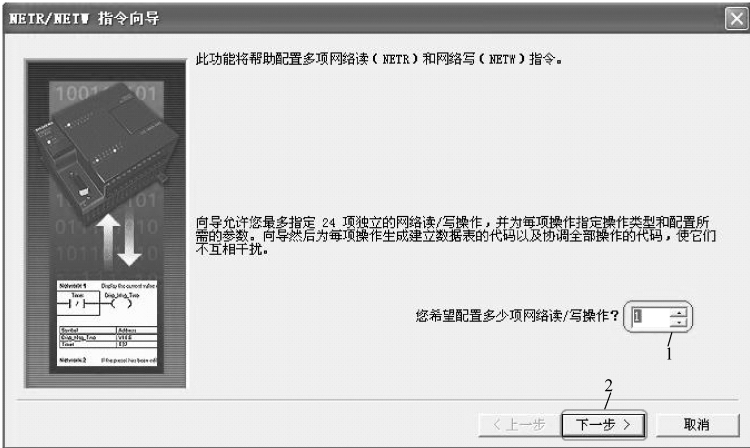


图 4-11　指定需要的网络操作数目

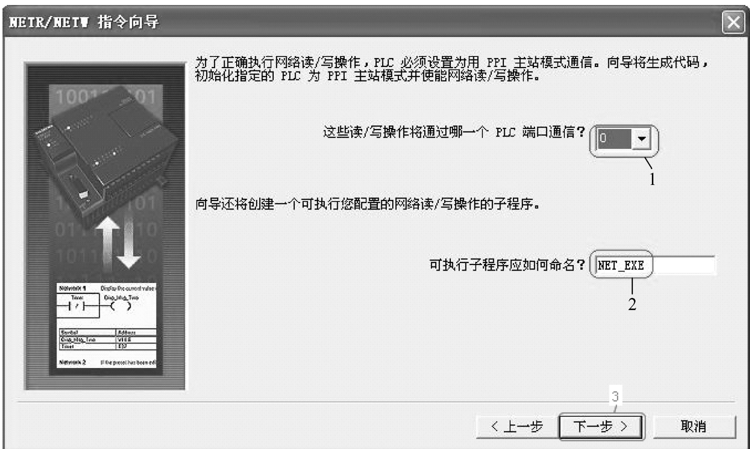


图 4-12　指定端口号和子程序名称

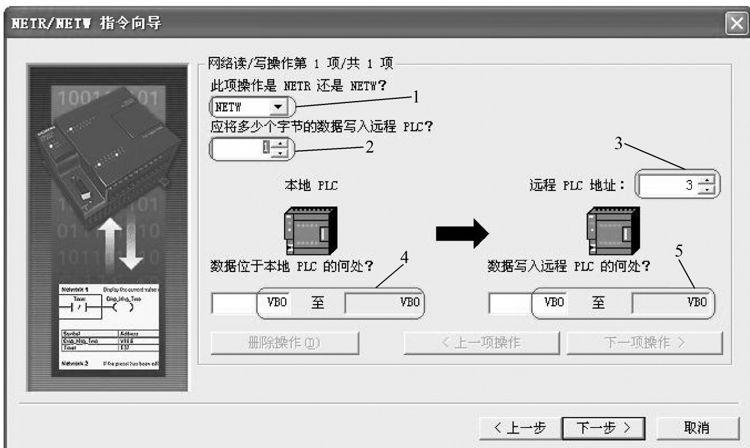


图 4-13　指定网络操作

（5）分配 V 存储区

接下来在图 4-14 所示的界面中分配系统要使用的存储区，通常使用默认值，然后单击“下一步”按钮。

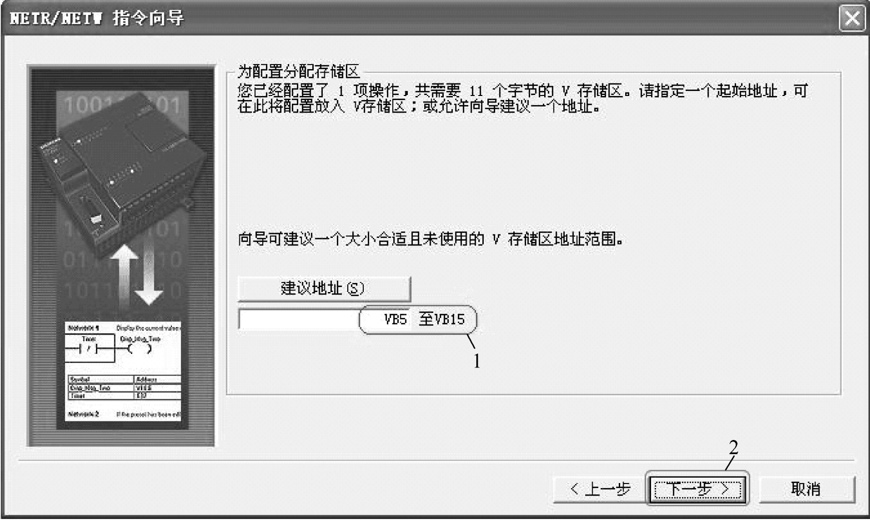


图 4-14　分配 V 存储区

（6）生成程序代码

最后单击“完成”按钮，如图 4-15 所示。至此通信子程序“NET_EXE”已经生成，在后面的程序中可以方便地进行调用。

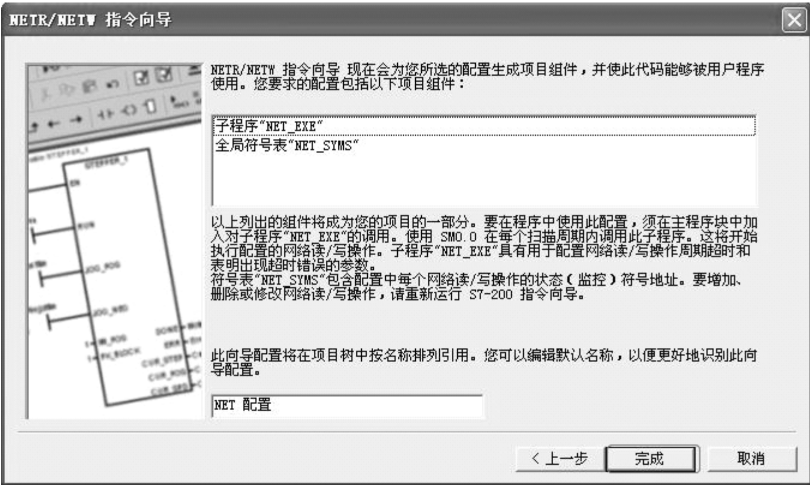


图 4-15　生成程序代码

编写主站和从站的程序，如图 4-16 所示。

【关键点】 本例主站的站地址为“2”，在运行程序前，必须将从站的站地址设置成“3”（与图 4-16 中设置一致），此外，本例实际是将主站的 VB0 中数据传送到从站的 VB0 中。此外，要注意站地址和站内地址的区别。主站和从站的波特率必须相等。一般而言，其

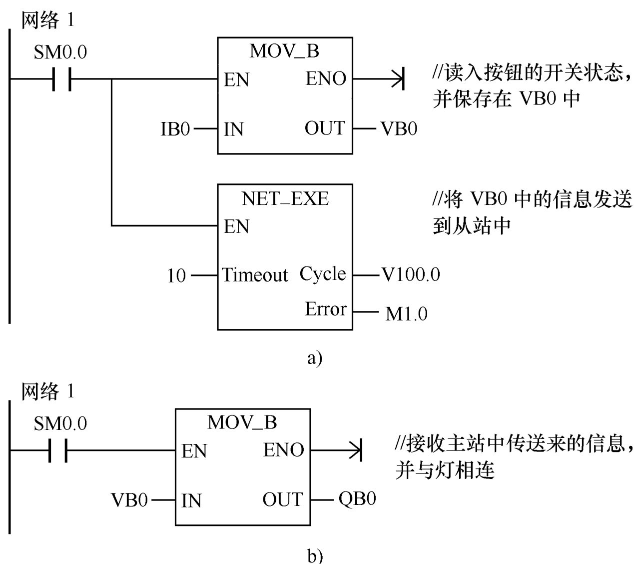


图 4-16　程序

a）主站程序　b）从站程序图

他的通信方式也遵循这个原则，这一点初学者很容易忽略。

【例 4-2】 某设备的第一站和第二站上的控制器是 CPU 226CN，两个站组成一个 PPI 网络，其中，第一站的 PLC 为主站，第二站的 PLC 为从站。其工作任务是：将主站内保存的时钟信息用网络写指令写入从站的 V 存储区，把从站的存储区的时钟信息用网络读指令读到主站的 V 存储区，主站和从站分别把时间信息的“秒”用 BCD 格式传送到 QB0 字节上显示。请编写程序。

【解】 首先列出主站发送数据缓冲区和从站接收数据缓冲区，见表 4-5 和表 4-6。

表 4-5　主站发送缓冲区

VB200	状　态　字
VB201	从站的地址（3）
VD202	&VB400 从站的接收缓冲区地址
VB206	8（字节）
VB207	主站的时钟信息“年”
VB208	主站的时钟信息“月”
VB209	主站的时钟信息“日”
VB210	主站的时钟信息“时”
VB211	主站的时钟信息“分”
VB212	主站的时钟信息“秒”
VB213	主站的时钟信息“0”
VB214	主站的时钟信息“星期”

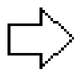


表 4-6　从站接收缓冲区

	主站时钟信息
VB400	主站的时钟信息“年”
VB401	主站的时钟信息“月”
VB402	主站的时钟信息“日”
VB403	主站的时钟信息“时”
VB404	主站的时钟信息“分”
VB405	主站的时钟信息“秒”
VB406	主站的时钟信息“0”
VB407	主站的时钟信息“星期”

然后再列出主站接收数据缓冲区和从站发送数据缓冲区，见表 4-7 和表 4-8。

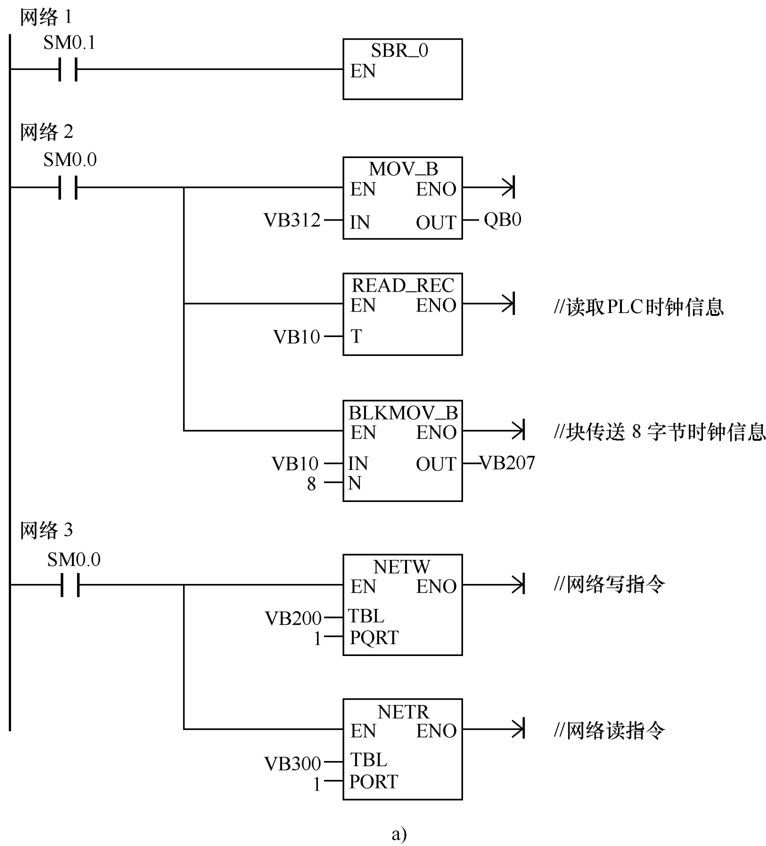
表 4-7　主站接收缓冲区

VB300	状　态　字
VB301	从站的地址（3）
VD302	&VB300 从站的发送缓冲区地址
VB306	8（字节）
VB307	从站的时钟信息“年”
VB308	从站的时钟信息“月”
VB309	从站的时钟信息“日”
VB310	从站的时钟信息“时”
VB311	从站的时钟信息“分”
VB312	从站的时钟信息“秒”
VB313	从站的时钟信息“0”
VB314	主站的时钟信息“星期”

表 4-8　从站发送缓冲区

	从站时钟信息
VB300	从站的时钟信息“年”
VB301	从站的时钟信息“月”
VB302	从站的时钟信息“日”
VB303	从站的时钟信息“时”
VB304	从站的时钟信息“分”
VB305	从站的时钟信息“秒”
VB306	从站的时钟信息“0”
VB307	从站的时钟信息“星期”

最后编写程序，如图 4-17 和图 4-18 所示。



a)

图 4-17　主站主程序

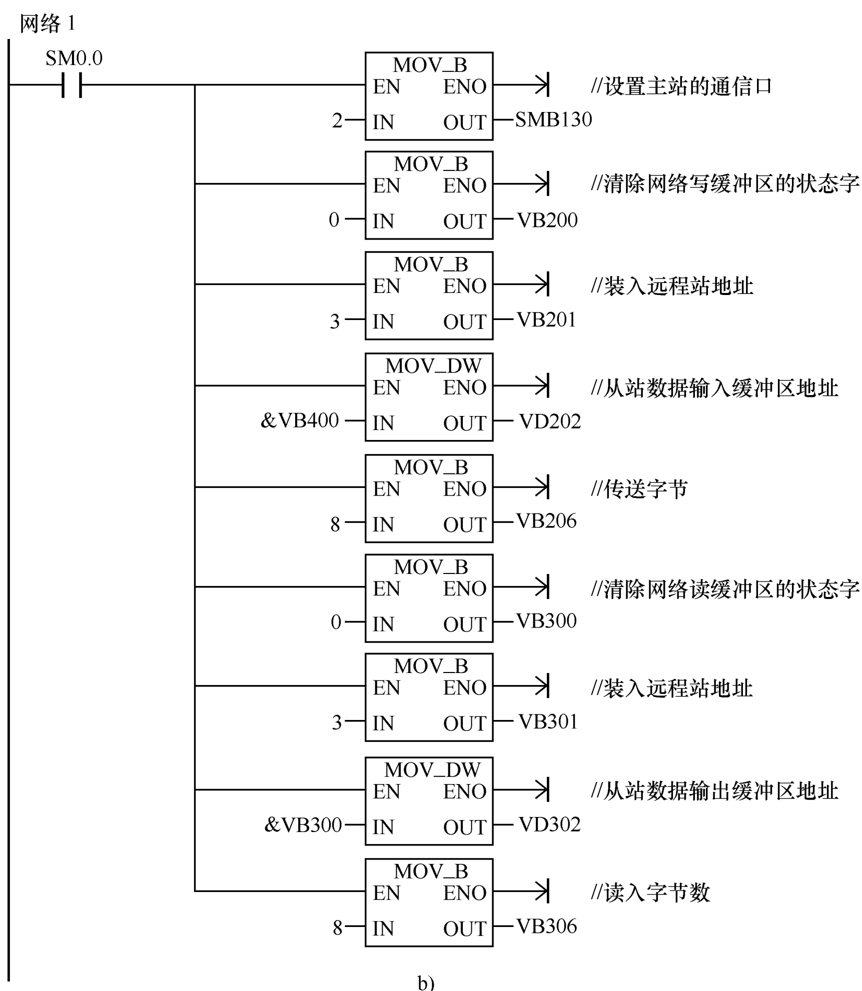


图 4-17　主站子程序（续）

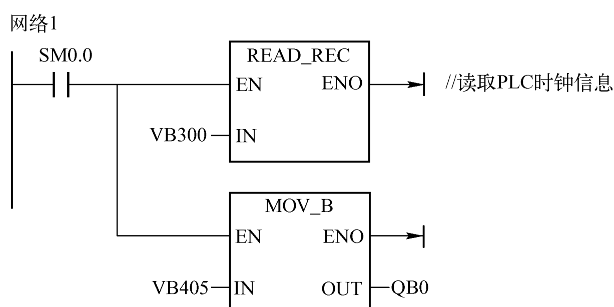


图 4-18　从站主程序

由此可见，用指令向导生成子程序进行 PPI 通信，比使用网络读写指令（NETR/NETW）要容易得多。

4.4 自由口通信

4.4.1 自由口通信简介

西门子 S7-200 PLC 拥有自由口通信功能，顾名思义，就是没有标准的通信协议。用户可以自己规定协议。第三方设备大多支持 RS-485 串口通信，西门子 S7-200 PLC 可以通过自由口通信模式控制串口通信。最简单的使用案例就是只用发送指令（XMT）向打印机或者变频器等第三方设备发送信息。不管任何情况，都通过 S7-200 PLC 编写程序实现。

自由口通信的核心就是发送（XMT）和接收（RCV）两条指令，以及相应的特殊寄存器控制。由于 S7-200 CPU 通信端口是 RS-485 半双工通信口，因此发送和接收不能同时处于激活状态。RS-485 半双工通信串行字符通信的格式可以包括一个起始位、7 或 8 位字符（数据字节）、一个奇/偶校验位（或者没有校验位）和一个停止位。

自由口通信速的波特率可以设置为 1200、2400、4800、9600、19200、38400、57600 或 112500 Baud。凡是符合这些格式的串行通信设备，理论上都可以和 S7-200 CPU 通信。自由口模式可以灵活应用。Micro/WIN 的两个指令库（USS 和 Modbus RTU）就是使用自由口模式编程实现的。

对于自由口模式设置来说，S7-200 CPU 使用 SMB30（对于 PORT0）和 SMB130（对于 PORT1）定义通信口的工作模式，有关说明参见图 4-7 及其说明。

1. 发送指令

以字节为单位，XMT 向指定通信口发送一串数据字符，要发送的字符以数据缓冲区指定，一次发送的字符最多为 255 个。

发送完成后，会产生一个中断事件，对于 PORT0 口为中断事件 9，而对于 PORT1 口为中断事件 26。当然也可以不通过中断，而通过监控 SM4.5（对于 PORT0 口）或者 SM4.6（对于 PORT1 口）的状态来判断发送是否完成，如果状态为 1，说明完成。XMT 指令缓冲区格式见表 4-9。

表 4-9 XMT 指令缓冲区格式

序号	字节编号	内容
1	T+0	发送字节的个数
2	T+1	数据字节
3	T+2	数据字节
	…	…
256	T+255	数据字节

2. 接收指令

以字节为单位，RCV 通过指定通信口接收一串数据字符，接收的字符保存在指定的数据缓冲区，一次接收的字符最多为 255 个。

接收完成后，会产生一个中断事件，对于 PORT0 口为中断事件 23，而对于 PORT1 口为中断事件 24。当然也可以不通过中断，而通过监控 SMB86（对于 PORT0 口）或者 SMB186

（对于 PORT1 口）的状态来判断接收是否完成，如果状态为非零，说明完成。SMB86 和 SMB186 含义见表 4-10，SMB87 和 SMB187 含义见表 4-11。

表 4-10　SMB86 和 SMB186 含义

对于 PORT0 口	对于 PORT1 口	控制字节各位的含义
SM86.0	SM186.0	为 1 说明奇偶校验错误而终止接收
SM86.1	SM186.1	为 1 说明接收字符超长而终止接收
SM86.2	SM186.2	为 1 说明接收超时而终止接收
SM86.3	SM186.3	为 0
SM86.4	SM186.4	为 0
SM86.5	SM186.5	为 1 说明是正常收到结束字符
SM86.6	SM186.6	为 1 说明输入参数错误或者缺少起始和终止条件而结束接收
SM86.7	SM186.7	为 1 说明用户通过禁止命令结束接收

表 4-11　SMB87 和 SMB187 含义

对于 PORT0 口	对于 PORT1 口	控制字节各位的含义
SM87.0	SM187.0	0
SM87.1	SM187.1	1 使用中断条件，0 不使用中断条件
SM87.2	SM187.2	1 使用 SM92 或者 SM192 时间段结束接收 0 不使用 SM92 或者 SM192 时间段结束接收
SM84.3	SM184.3	1 定时器是信息定时器，0 定时器是内部字符定时器
SM84.4	SM184.4	1 使用 SM90 或者 SM190 检测空闲状态 0 不使用 SM90 或者 SM190 检测空闲状态
SM84.5	SM184.5	1 使用 SM89 或者 SM189 终止符检测终止信息 0 不使用 SM89 或者 SM189 终止符检测终止信息
SM87.6	SM187.6	1 使用 SM88 或者 SM188 起始符检测起始信息 0 不使用 SM88 或者 SM188 起始符检测起始信息
SM87.7	SM187.7	0 禁止接收，1 允许接收

与自由口通信相关的其他重要特殊控制字/字节见表 4-12。

表 4-12　其他重要特殊控制字/字节

对于 PORT0 口	对于 PORT1 口	控制字节或者控制字的含义
SMB88	SMB188	信息字符的开始
SMB89	SMB189	信息字符的结束
SMW90	SMW190	空闲线时间段，按毫秒设定。空闲线时间用完后接收的第一个字符是新消息的开始
SMW92	SMW192	中间字符/消息定时器溢出值，按毫秒设定。如果超过这个时间段，则终止接收消息
SMW94	SMW194	要接收的最大字符数（1 ~ 255 B）。此范围必须设置为期望的最大缓冲区大小，即使不使用字符计数消息终端

RCV 指令缓冲区格式见表 4-13。

表 4-13　RCV 指令缓冲区格式

序　　号	字 节 编 号	内　　容
1	T+0	接收字节的个数
2	T+1	起始字符（如果有）
3	T+2	数据字节
4		数据字节
	…	…
256	T+255	结束字符（如果有）

4.4.2　S7-200 PLC 之间的自由口通信

以两台 S7-200 CPU 之间的自由口通信为例介绍 S7-200 PLC 之间的自由口通信的编程实施方法。

【例 4-3】 有两台设备，控制器都是 CPU 226CN，两控制器之间为自由口通信，要求实现设备 1 对设备 2 上的电动机进行起停控制，请设计方案，编写程序。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 2 台 CPU 226CN。

③ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含 2 个网络总线连接器）。

④ 1 根 PC/PPI 电缆。

自由口通信硬件配置如图 4-19 所示，两台 CPU 的接线如图 4-20 所示。



图 4-19　自由口通信硬件配置图

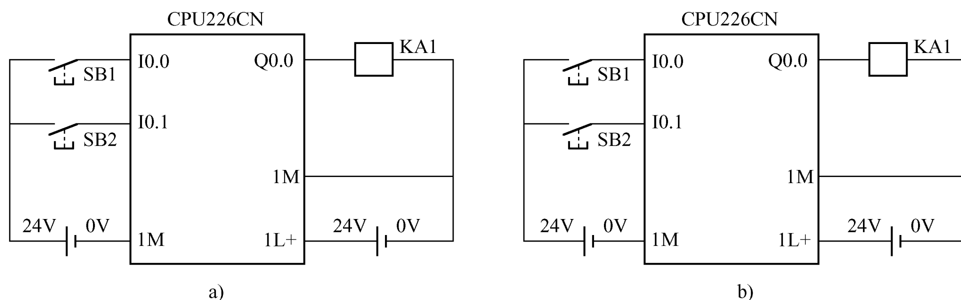


图 4-20　接线图

a）站 1　b）站 2

【关键点】 自由口通信的通信线缆最好使用 PROFIBUS 网络电缆和网络总线连接器，若要求不高，为了节省开支可购买市场上的 DB9 接插件，再将两个接插件的 3 和 8 脚对接即可，如图 4-21 所示。

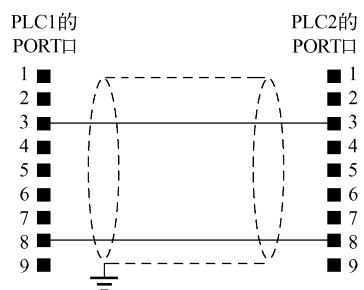


图 4-21　自由口通信连线的另一种方案

2. 编写程序（方法 1）

（1）编写设备 1 的程序

设备 1 的主程序如图 4-22 所示。

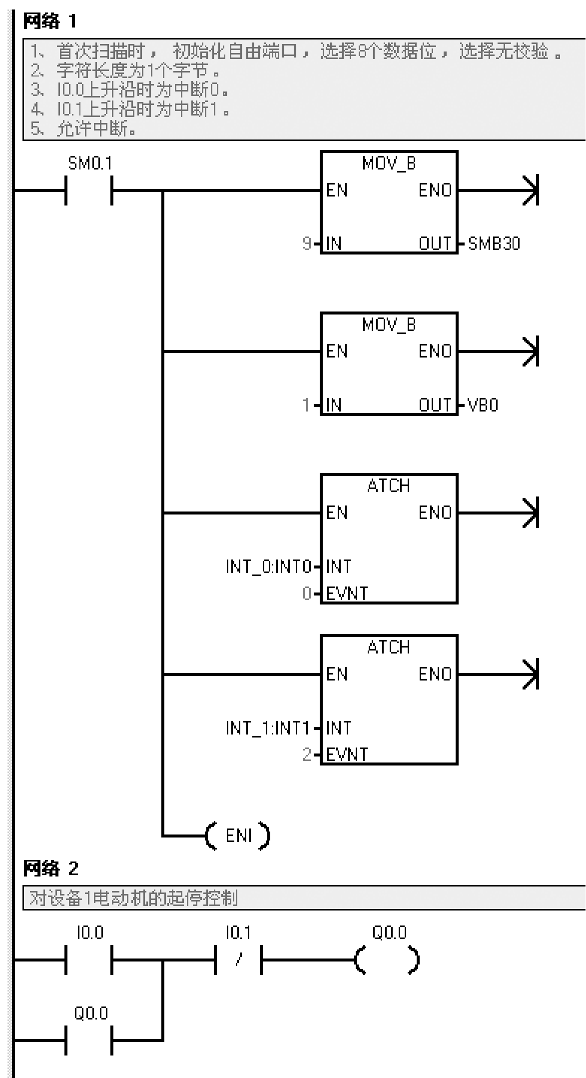


图 4-22　自由口通信主程序

设备 1 的中断程序 0 如图 4–23 所示。

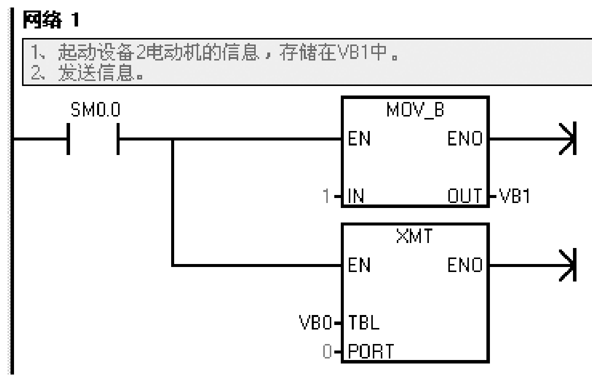


图 4–23　自由口通信中断程序 0

设备 1 的中断程序 1 如图 4–24 所示。

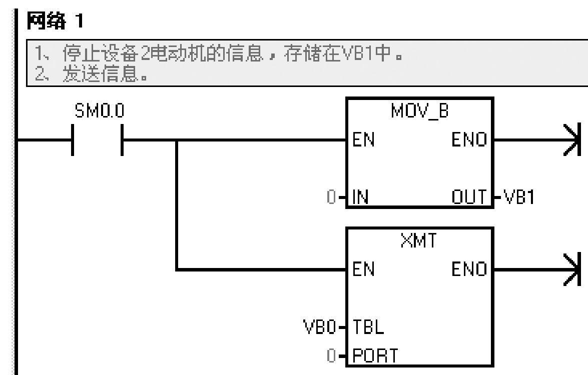


图 4–24　自由口通信中断程序 1

（2）编写设备 2 的程序

设备 2 的主程序如图 4–25 所示。

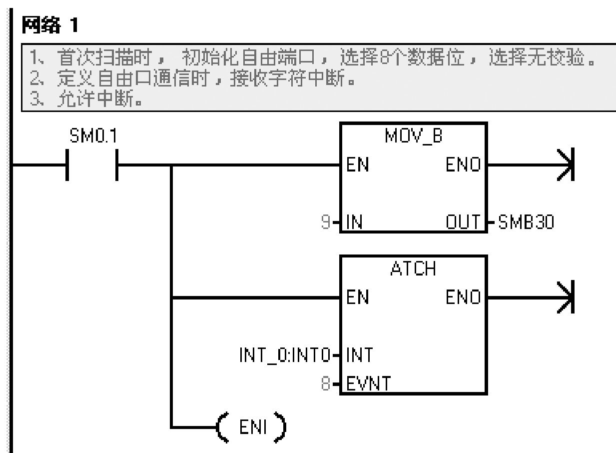


图 4–25　自由口通信主程序

设备 2 的中断程序 0 如图 4–26 所示。

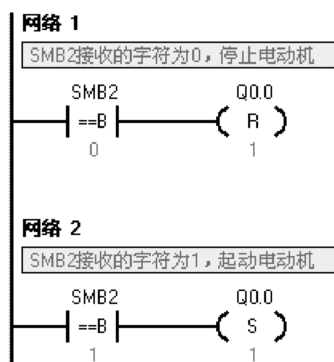


图4-26　自由口通信中断程序 0

3. 编写程序（方法 2）

（1）编写设备 1 的程序

设备 1 的主程序如图 4-27 所示。

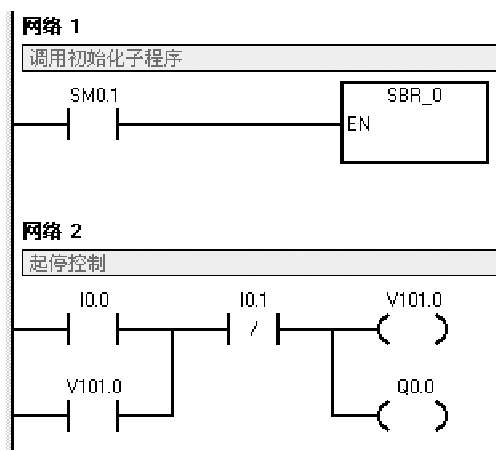


图 4-27　自由口通信主程序

设备 1 的子程序如图 4-28 所示。

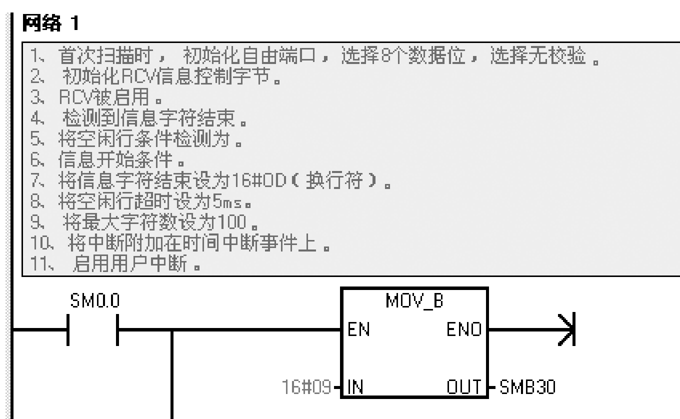


图 4-28　自由口通信子程序

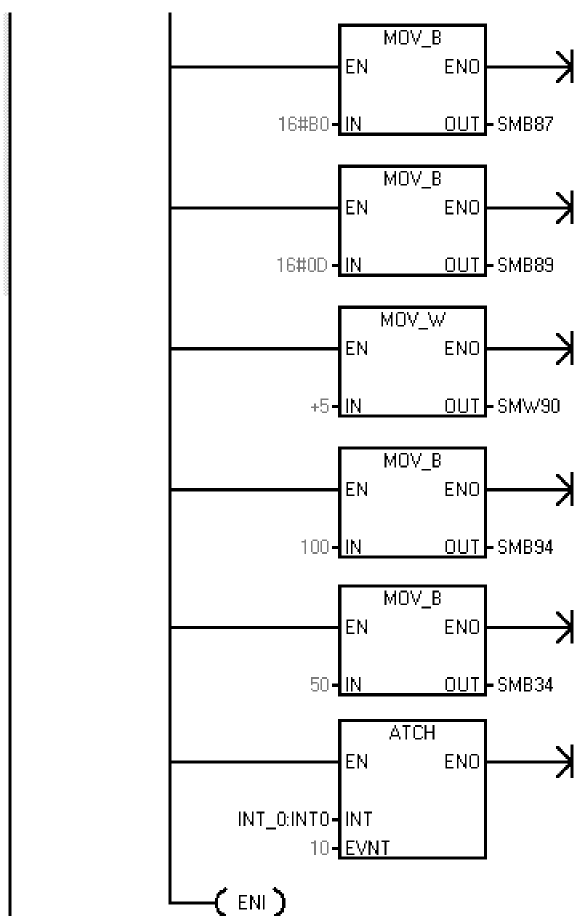


图 4-28　自由口通信子程序（续）

设备 1 的中断程序如图 4-29 所示。

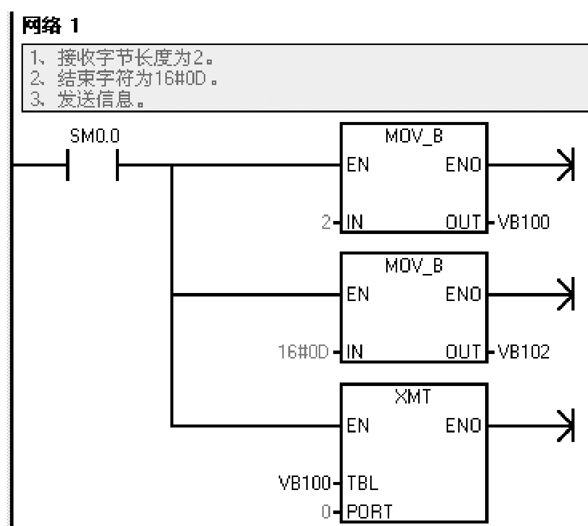


图 4-29　自由口通信中断程序

（2）编写设备 2 的程序

设备 2 的主程序如图 4-30 所示。

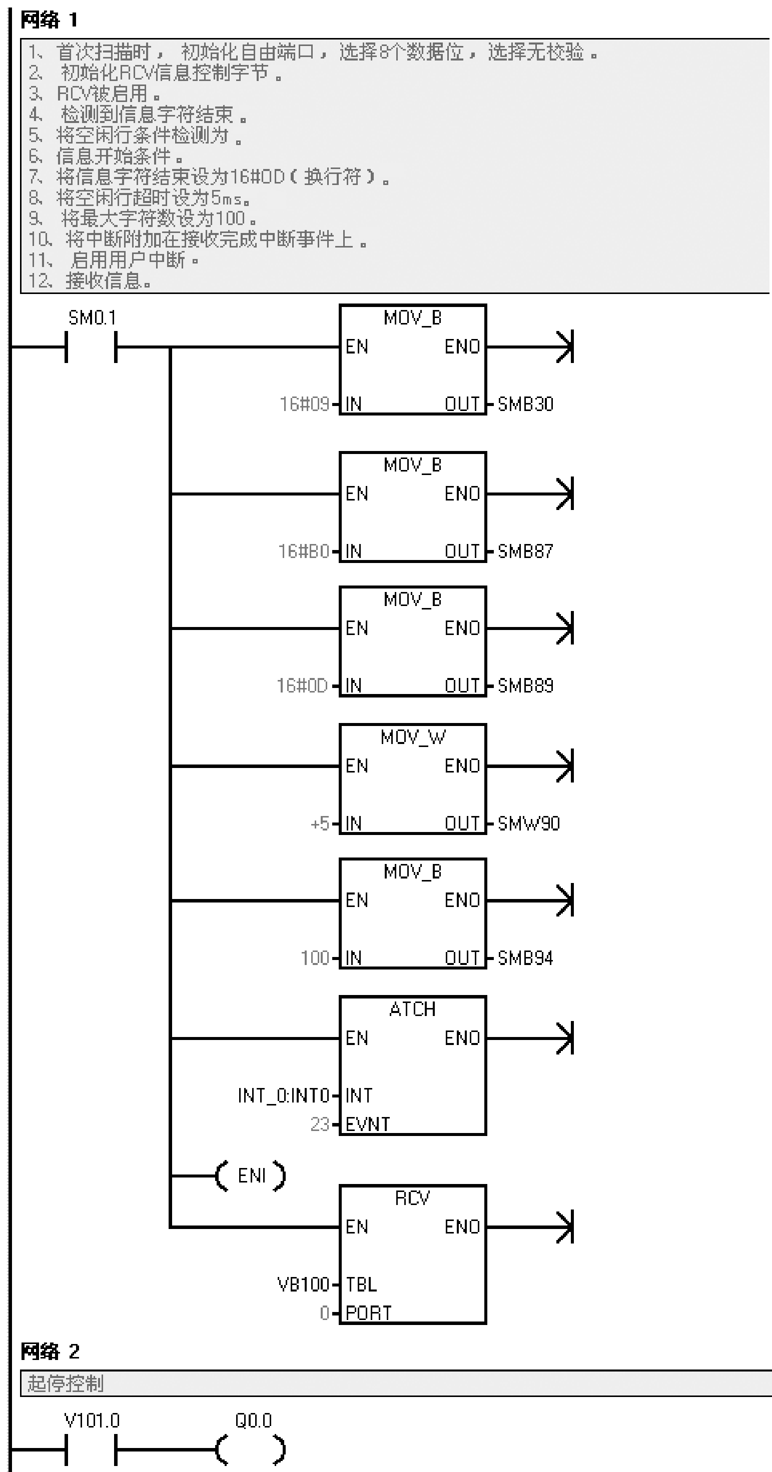


图 4-30　自由口通信主程序

设备 2 的中断程序如图 4-31 所示。

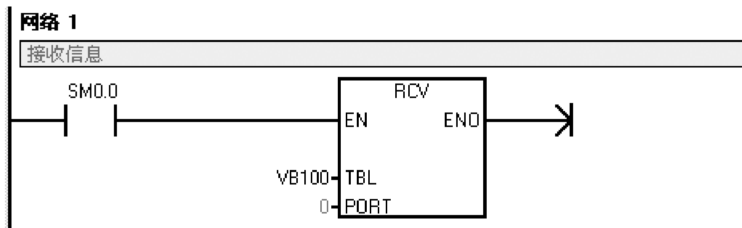


图 4-31　自由口通信中断程序

4.4.3　智能设备与 S7-200 PLC 之间的自由口通信

除了 S7-200 PLC 之间可以进行自由口通信，S7-200 PLC 还可以与其他品牌的 PLC、变频器或者计算机进行通信，以下以 CPU 226CN 与计算机的自由口通信为例，讲解个人计算机与 S7-200 PLC 之间的自由口通信。

【例 4-4】 用一台个人计算的 Hyper Terminal（超级终端）接收来自一台 CPU 226CN 发送的数据，并进行显示。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 台 CPU 226CN。

③ 1 根 PC/PPI 电缆（本例的计算机端为 RS-232C 接口）。

④ 1 台计算机。

自由口通信硬件配置图如图 4-32 所示。

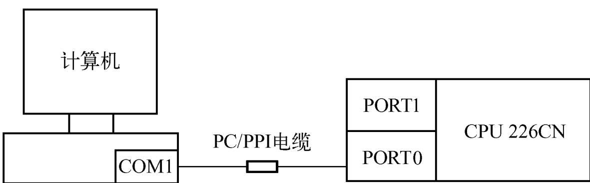


图 4-32　自由口通信硬件配置图

2. 编写 PLC 的程序

PLC 的主程序如图 4-33 所示。

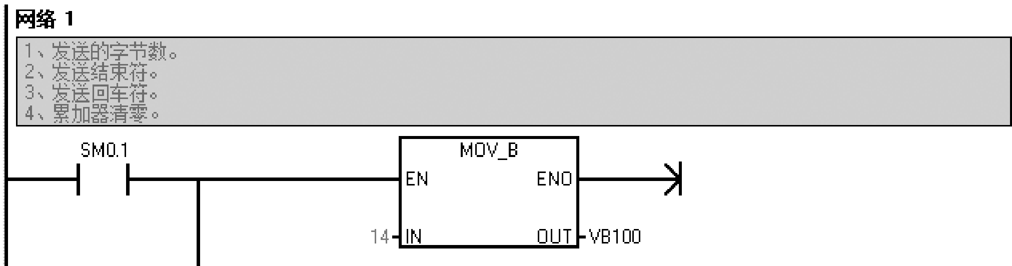


图 4-33　PLC 的主程序

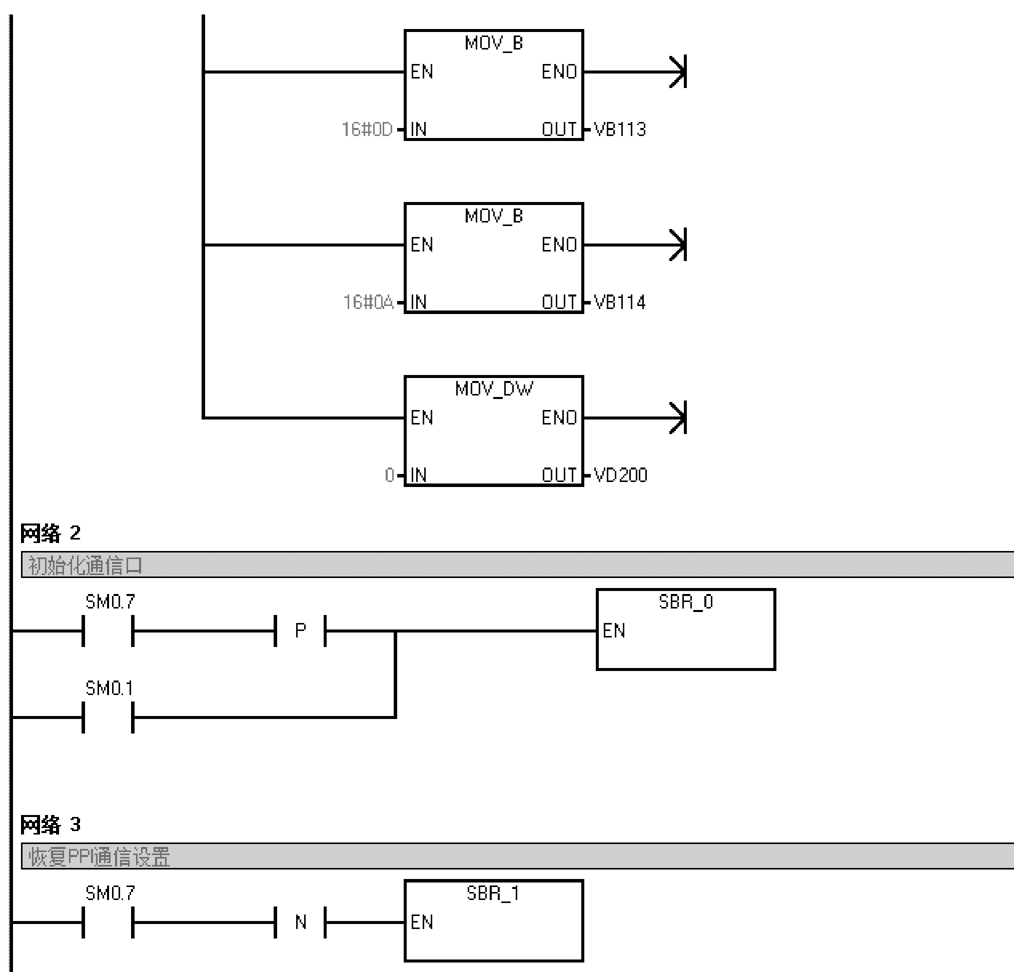


图 4-33　PLC 的主程序（续）

PLC 的子程序 0 如图 4-34 所示。

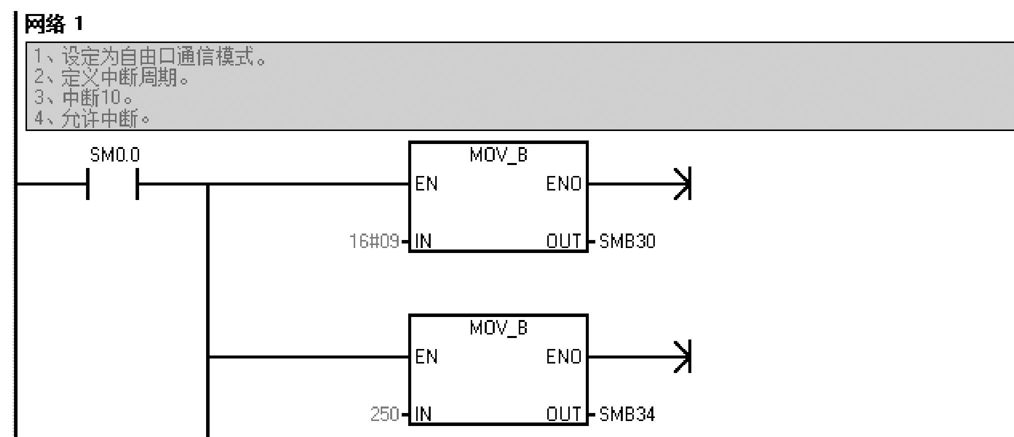


图 4-34　PLC 的子程序 0

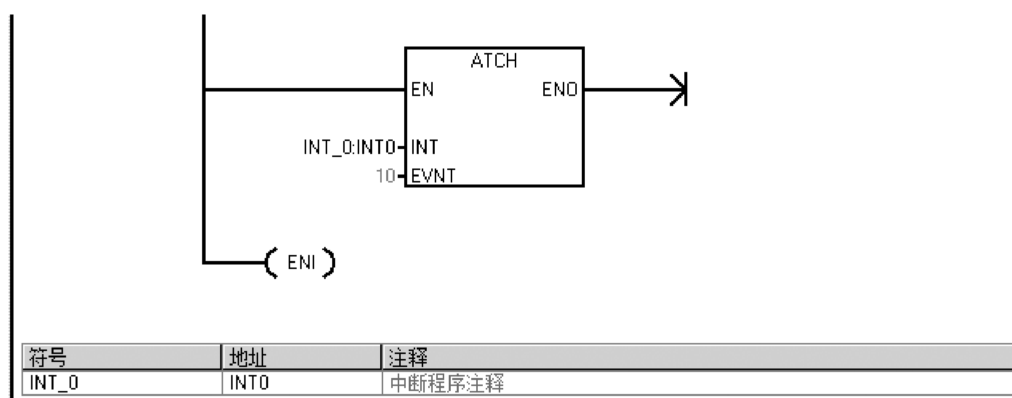


图 4-34　PLC 的子程序 0（续）

PLC 的子程序 1 如图 4-35 所示。

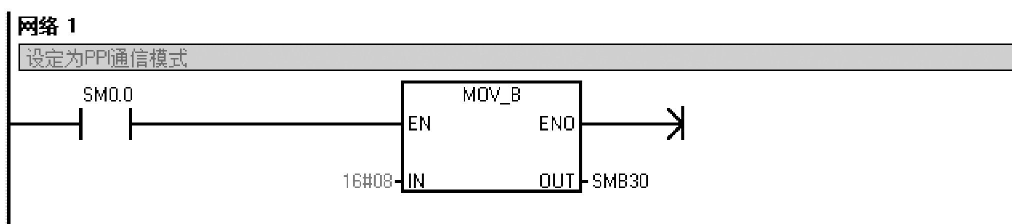


图 4-35　PLC 的子程序 1

PLC 的中断程序 0 如图 4-36 所示。

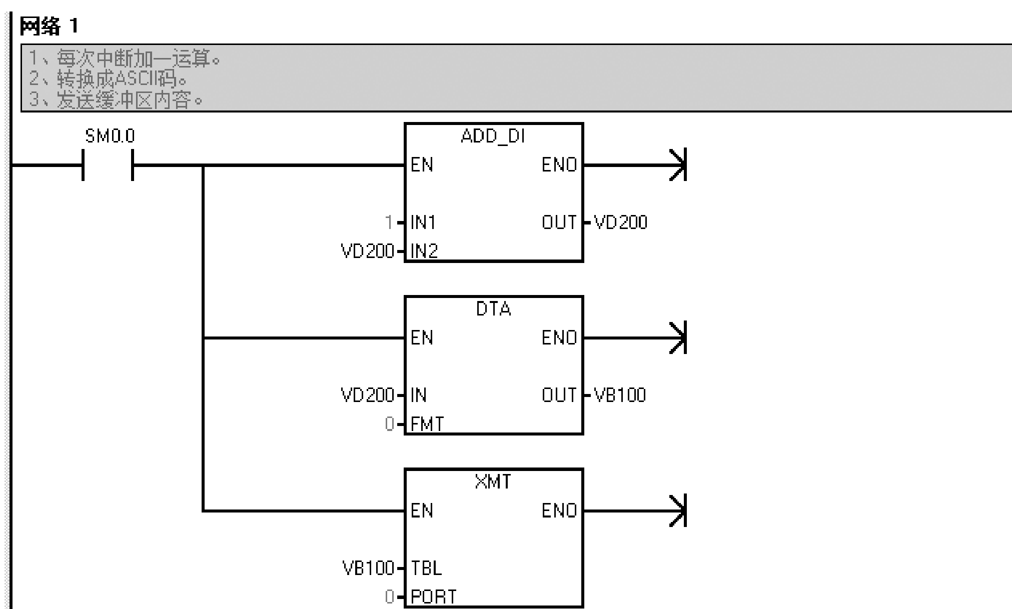


图 4-36　PLC 的中断程序 0

3. 设置 Hyper Terminal（超级终端）

1）打开超级终端。在 Windows 中按照“所有程序”→“附件”→“通信”→“超级终端（Hyper Terminal）”打开超级终端，并在如图 4-37 所示的界面中指定名称，本例为“xxh”，单击“确定”按钮，弹出“选择串行通信接口”界面，如图 4-38 所示。

2）选择串行通信接口。按照如图 4-38 所示设置（区号和电话号码可以根据实际情况），由于本例使用的是电脑只配置 COM1 口，所以只能选择“3”处的“COM1”串口，最后单击“确定”按钮。



图 4-37　指定连接名称



图 4-38　选择串行通信接口

3）设置通信参数。按照如图 4-39 所示设置串行接口通信参数，“1”处为通信的波特率，应与 PLC 的编写的程序波特率一致，否则不能通信；将“数据流控制”中的选项改为“无”，最后单击“确定”按钮。

4）建立超级终端与 PLC 通信。单击如图 4-40 所示“1”处的“呼叫”按钮，PLC 向计算机的超级终端发送数据，并显示到超级终端的界面上，数据不断向上自动滚动。

5）终止超级终端与 PLC 通信。当单击如图 4-41 所示“2”处的“断开”按钮，计算机的超级终端接收数据，显示到超级终端的界面上数据处于静止状态。



图 4-39　设置通信参数



图 4-40　建立超级终端与 PLC 通信



图 4-41　终止超级终端与 PLC 通信

4.5　Modbus 通信

4.5.1　Modbus 协议简介

Modbus 协议是应用于电子控制器上的一种通用语言。通过此协议，控制器相互之间、控制器经由网络（例如以太网）和其他设备之间可以通信。它已经成为一种通用工业标准。有了它，不同厂商生产的控制设备可以连成工业网络，进行集中监控。

此协议定义了一个控制器能认识使用的消息结构，而不管它们是经过何种网络进行通信的。它描述了控制器请求访问其他设备的过程，如回应来自其他设备的请求，以及怎样侦测错误并记录。它制定了消息域格局和内容的公共格式。

当在一个 Modbus 网络上通信时，此协议决定了每个控制器需要知道它们的设备地址，识别按地址发来的消息，决定要产生何种行动。如果需要回应，控制器将生成反馈信息并用 Modbus 协议发出。在其他网络上，包含了 Modbus 协议的消息转换、在此网络上使用的帧或包结构。这种转换也扩展了根据具体的网络解决地址、路由路径及错误校验的方法。

4.5.2　S7-200 PLC 之间的 Modbus 通信

1. 使用 Modbus 协议库

STEP7-Micro/WIN 指令库包括专门为 Modbus 通信设计的预先定义的子程序和中断服务程序，使得与 Modbus 设备的通信变得更简单。通过 Modbus 协议指令，可以将 S7-200 组态为 Modbus 主站或从站设备。

可以在 STEP7-Micro/WIN 指令树的库文件夹中找到这些指令。当在程序中输入一个 Modbus 指令时，自动将一个或多个相关的子程序添加到项目中。

西门子指令库以一个独立的光盘销售，在购买和安装了 1.1 版本的西门子指令库后，任何后续的 STEP 7-Micro/WIN V3.2x 和 V4.0 升级都会在不需要附加费用的情况下自动升级指令库（当增加或修改库时）。

【关键点】 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9 SP4（含）以前的版本，指令库只有从站指令，之后的版本才有主站指令库，如果需要 SP4（含）以前 S7-200 作主站，读者必须在自由口模式下，按照 Modbus 协议编写程序，这会很麻烦。CPU 的固化程序版本不低于 V2.0 才能支持 Modbus 指令库。

2. Modbus 的地址

Modbus 地址通常是包含数据类型和偏移量的 5 个字符值。第一个字符确定数据类型，后面四个字符选择数据类型内的正确数值。

（1） 主站寻址

Modbus 主站指令可将地址映射到正确功能，然后发送至从站设备。Modbus 主站指令支持下列 Modbus 地址：

00001 ~ 09999 是离散输出（线圈）。

10001 ~ 19999 是离散输入（触点）。

30001 ~ 39999 是输入寄存器（通常是模拟量输入）。

40001 ~ 49999 是保持寄存器。

所有 Modbus 地址都是基于 1，即从地址 1 开始第一个数据值。有效地址范围取决于从站设备。不同的从站设备将支持不同的数据类型和地址范围。

（2） 从站寻址

Modbus 主站设备将地址映射到正确功能。Modbus 从站指令支持下列地址：

00001 ~ 00128 是实际输出，对应于 Q0. 0 ~ Q15. 7。

10001 ~ 10128 是实际输入，对应于 I0. 0 ~ I15. 7。

30001 ~ 30032 是模拟输入寄存器，对应于 AIW0 ~ AIW62。

40001 ~ 04XXXX 是保持寄存器，对应于 V 区。

所有 Modbus 地址都是从 1 开始编号的。表 4-14 为 Modbus 地址与 S7-200 地址的对应关系。

表 4-14　Modbus 地址与 S7-200 地址的对应关系

序　号	Modbus 地址	S7-200 地址
1	00001	Q0. 0
	00002	Q0. 1
	…	…
	00127	Q15. 6
	00128	Q15. 7
2	10001	I0. 0
	10002	I0. 1
	…	…
	10127	I15. 6
	10128	I15. 7
3	30001	AIW0
	30002	AIW1
	…	…
	30032	AIW62
4	40001	HoldStart
	40002	HoldStart + 2
	…	
	4xxxx	HoldStart + 2 × （xxxx - 1）

Modbus 从站协议允许对 Modbus 主站可访问的输入、输出、模拟输入和保持寄存器（V 区）的数量进行限定。例如，若 HoldStart 是 VB0，那么 Modbus 地址 40001 对应 S7-200 地址的 VB0。

3. S7-200 PLC 之间的 Modbus 通信应用举例

以两台 CPU 226CN 之间的 Modbus 现场总线通信为例，介绍 S7-200 PLC 之间的 Modbus 现场总线通信。

【例 4-5】 模块化生产线的主站为 CPU 226CN，从站为 CPU 226CN，将主站 VW1000 ~ VW1003 的内容实时传送到从站的 VW1000 ~ VW1003。

【解】

（1）主要软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9 SP7。

② 1 根 PC/PPI 电缆（或者 CP5611 卡）。

③ 2 台 CPU 226CN。

④ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）。

Modbus 现场总线硬件配置如图 4-42 所示。

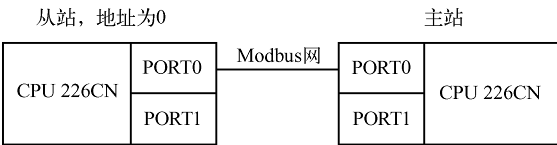


图 4-42　Modbus 现场总线硬件配置图

（2）相关指令介绍

1）主设备指令。初始化主设备指令 MBUS_CTRL 用于 S7-200 端口 0（或用于端口 1 的 MBUS_CTRL_P1 指令）可初始化、监视或禁用 Modbus 通信。在使用 MBUS_MSG 指令之前，必须正确执行 MBUS_CTRL 指令，指令执行完成后，立即设定“完成”位，才能继续执行下一条指令。其各输入/输出参数见表 4-15。

表 4-15　MBUS_CTRL 指令的参数表

子　程　序	输入/输出	说　　明	数据类型
MBUS_CTRL EN Mode Baud　Done Parity　Error Timeout	EN	使能	BOOL
	Mode	为 1 将 CPU 端口分配给 Modbus 协议并启用该协议。为 0 将 CPU 端口分配给 PPI 协议，并禁用 Modbus 协议	BOOL
	Baud	将波特率设为 1200、2400、4800、9600、19200、38400、57600 或 115200 Baud	D WORD
	Parity	0 - 无奇偶校验　1 - 奇校验　2 - 偶校验	BYTE
	Timeout	等待来自从站应答的毫秒时间数	WORD
	ERROR	出错时返回错误代码	BYTE

MBUS_MSG 指令（或用于端口 1 的 MBUS_MSG_P1）用于起动对 Modbus 从站的请求，并处理应答。当 EN 输入和“首次”输入打开时，MBUS_MSG 指令起动对 Modbus 从站的请求。发送请求、等待应答并处理应答。EN 输入必须打开，以启用请求的发送，并保持打开，直到“完成”位被置位。此指令在一个程序中可以执行多次。其各输入/输出参数见表 4-16。

表 4-16　MBUS_MSG 指令的参数表

子　程　序	输入/输出	说　　明	数 据 类 型
MBUS_MSG EN First Slave　Done RW　Error Addr Count DataPtr	EN	使能	BOOL
	First	“首次”参数应该在有新请求要发送时才打开，进行一次扫描。“首次”输入应当通过一个边沿检测元素（例如上升沿）打开，这将保证请求被传送一次	BOOL
	Slave	“从站”参数是 Modbus 从站的地址。允许的范围是 0～247	BYTE
	RW	0－读，1－写	BYTE
	Addr	“地址”参数是 Modbus 的起始地址	DWORD
	Count	“计数”参数，读取或写入的数据元素的数目	INT
	DataPtr	S7-200 CPU 的 V 存储器中与读取或写入请求相关数据的间接地址指针	DWORD
	ERROR	出错时返回错误代码	BYTE

【关键点】 指令 MBUS_CTRL 的 EN 要接通，在程序中只能调用一次，MBUS_MSG 指令可以在程序中多次调用，要特别注意区分 Addr 、DataPtr 和 Slave 三个参数。

2）从设备指令。MBUS_INIT 指令用于启用、初始化或禁止 Modbus 通信。在使用 MBUS_SLAVE 指令之前，必须正确执行 MBUS_INIT 指令。指令完成后立即设定“完成”位，才能继续执行下一条指令。其各输入/输出参数见表 4-17。

表 4-17　MBUS_INIT 指令的参数表

子　程　序	输入/输出	说　　明	数 据 类 型
MBUS_INIT EN Mode　Done Addr　Error Baud Parity Delay MaxIQ MaxAI MaxHold HoldSt~	EN	使能	BOOL
	Mode	为 1 将 CPU 端口分配给 Modbus 协议并启用该协议。为 0 将 CPU 端口分配给 PPI 协议，并禁用 Modbus 协议	BYTE
	Baud	将波特率设为 1200、2400、4800、9600、19200、38400、57600 或 115200 Baud	D WORD
	Parity	0－无奇偶校验　1－奇校验　2－偶校验	BYTE
	Addr	“地址”参数是 Modbus 的起始地址	BYTE
	Delay	“延时”参数，通过将指定的毫秒数增加至标准 Modbus 信息超时的方法，延长标准 Modbus 信息结束超时条件	WORD
	MaxIQ	参数将 Modbus 地址 0xxxx 和 1xxxx 使用的 I 和 Q 点数设为 0～128 之间的数值	WORD
	MaxAI	参数将 Modbus 地址 3xxxx 使用的字输入（AI）寄存器数目设为 0～32 之间的数值	WORD
	MaxHold	参数设定 Modbus 地址 4xxxx 使用的 V 存储器中的字保持寄存器数目	WORD
	HoldStart	参数是 V 存储器中保持寄存器的起始地址	DWORD
	ERROR	出错时返回错误代码	BYTE

MBUS_SLAVE 指令用于为 Modbus 主设备发出的请求服务，并且必须在每次扫描时执行，以便允许该指令检查和回答 Modbus 请求。在每次扫描且 EN 输入开启时，执行该指令。其各输入/输出参数见表 4-18。

表 4-18　MBUS_SLAVE 指令的参数表

子　程　序	输入/输出	说　　明	数 据 类 型
MBUS_SLAVE EN Done Error	EN	使能	BOOL
	Done	当 MBUS_SLAVE 指令对 Modbus 请求作出应答时，“完成”输出打开。如果没有需要服务的请求时，“完成”输出关闭	BOOL
	ERROR	出错时返回错误代码	BYTE

【关键点】MBUS_INIT 指令只在首次扫描时执行一次，MBUS_SLAVE 指令无输入参数。

（3）编写程序

主站和从站的程序如图 4-43 和图 4-44 所示。

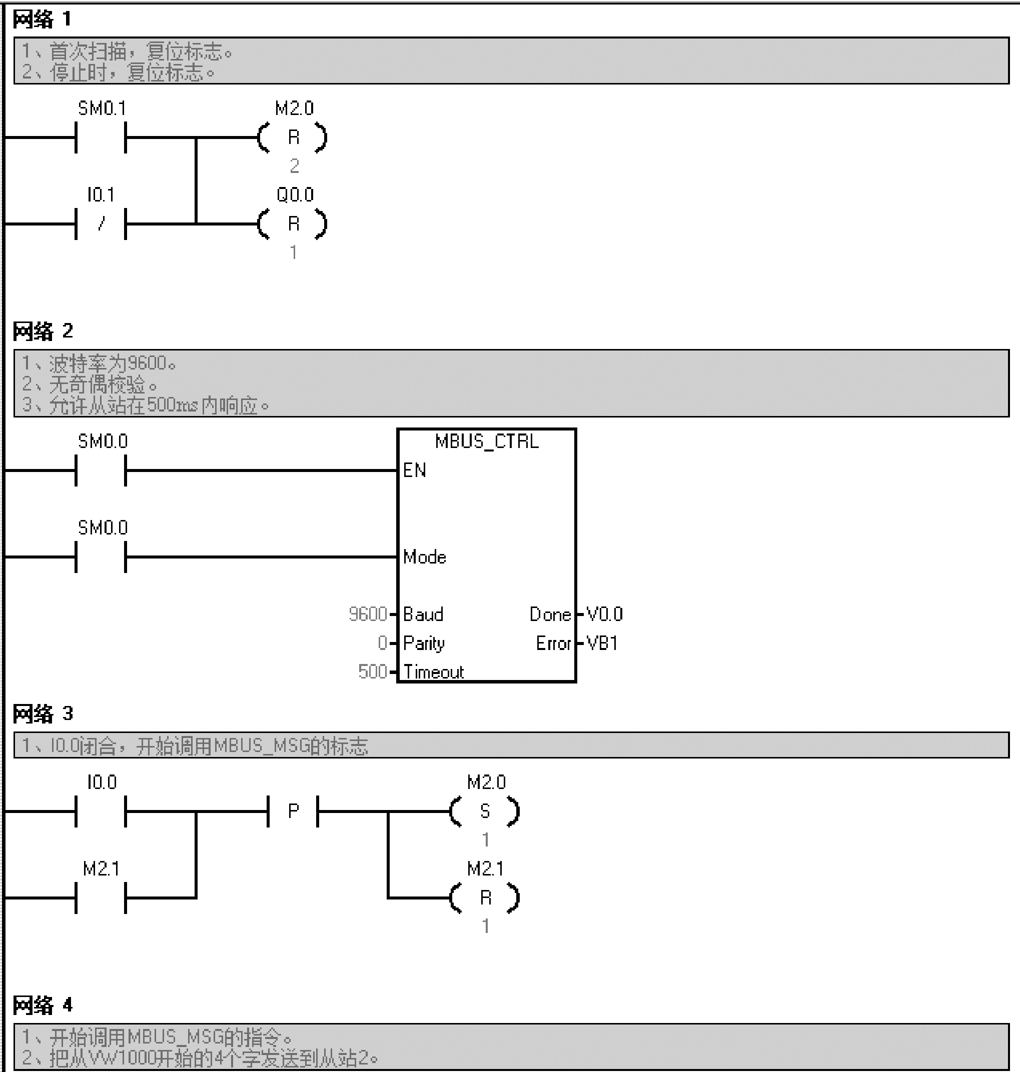
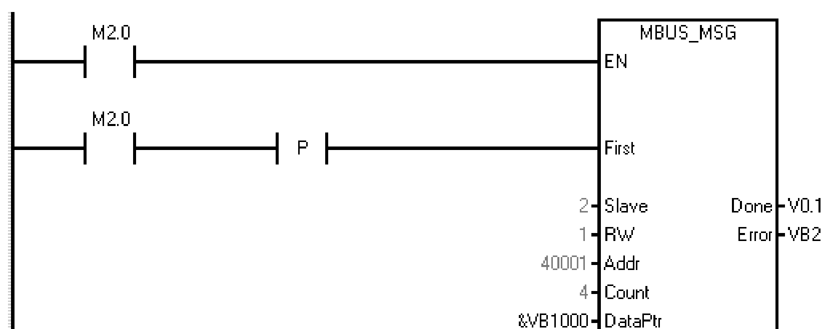


图 4-43　主站程序



网络 5

读取完成后，复位M2.0，再置位M2.1，起动下次读取通信

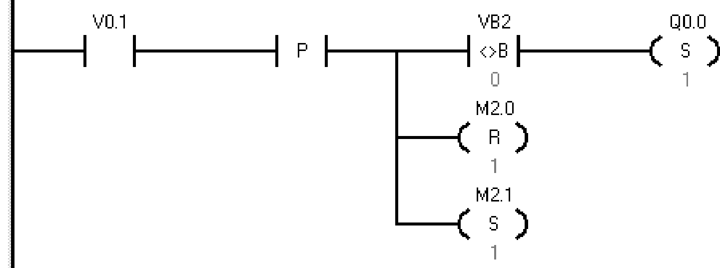
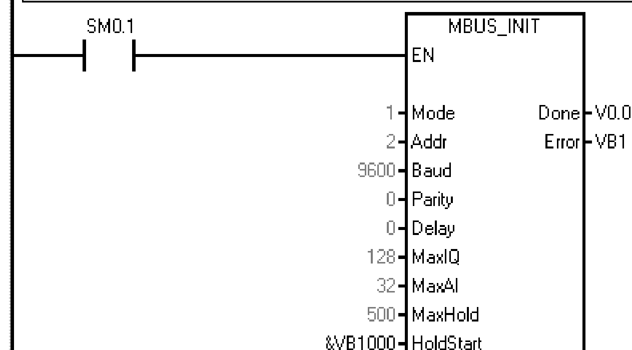


图 4-43　主站程序（续）

网络 1

1、Modbus通信模式。
2、从站地址为2。
3、无奇偶校验。
4、把主站发送来的4个字，存在起始地址为VW1000的4个字中。



网络 2

每个扫描循环必须要调用MBUS_SLAVE

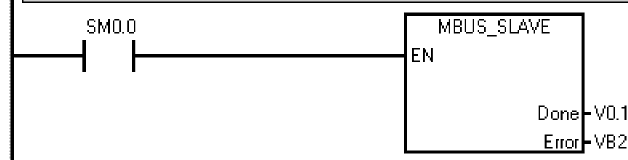


图 4-44　从站程序

【关键点】在调用了 Modbus 指令库的指令后，还要对库存储区进行分配，这是非常重要的，否则即使编写程序没有语法错误，程序编译后也会显示至少几十个错误。分配库存储区的方法如下：先选中“程序块”，再单击右键，弹出快捷菜单，并单击“库存储区”，如图 4-45 所示。再在“库存储区”中填写 Modbus 指令所需要用到的存储区的起始地址，如图 4-46 所示。示例中 Modbus 指令所需要用到的存储区为 VB100 ~ VB383，这个区间的 V 存储区在后续编程是不能使用的。

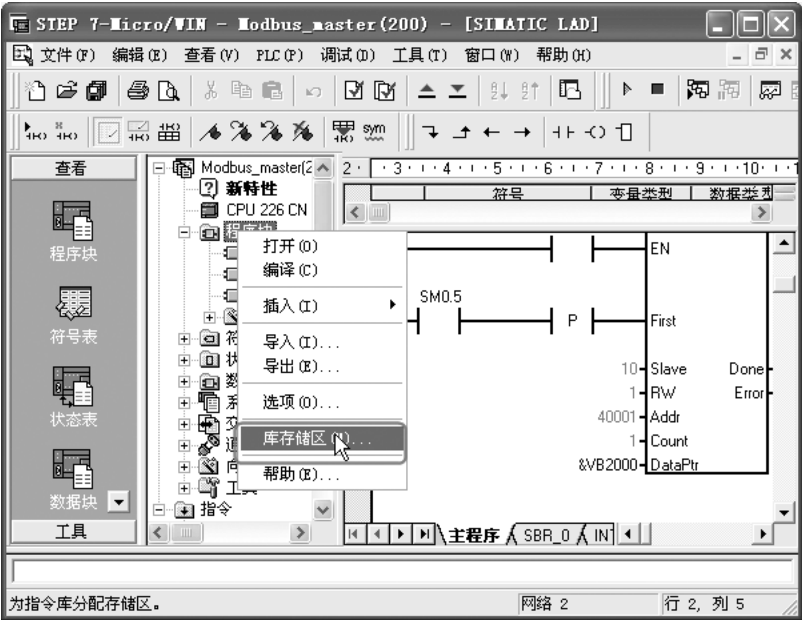


图 4-45 选定库存储区



图 4-46 设定库存储区的范围

4.5.3 S7-1200 PLC 之间的 Modbus 通信

S7-1200 PLC 之间的 Modbus 通信中，S7-1200 PLC 的程序编写的方法与前述的 Modbus 通信的编程方法相似。以下用一个例子介绍 S7-1200 PLC 之间的 Modbus 通信。

【例 4-6】有两台设备，都由 S7-1200 PLC 控制，一台 S7-1200 为 Modbus 从站。主站

采集一路模拟量数据，传送到 Modbus 从站中，请编写相关程序。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP7 Basic V11。

② 1 根网线。

③ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）。

④ 2 台 CPU 1214C。

⑤ 2 台 CM 1241 （RS-485）。

Modbus 现场总线硬件配置如图 4-47 所示。

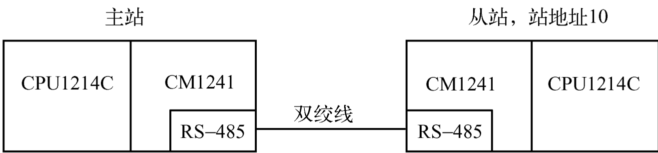


图 4-47 Modbus 现场总线硬件配置图

2. 硬件组态

1）新建工程，并添加硬件。新建工程，命名为“4-3”，添加主站（PLC_1）的硬件，分别为 CPU1214C 和 CM1241 （RS485）；添加从站（PLC_2）的硬件，分别为 CPU1214C 和 CM1241 （RS485），如图 4-48 所示。

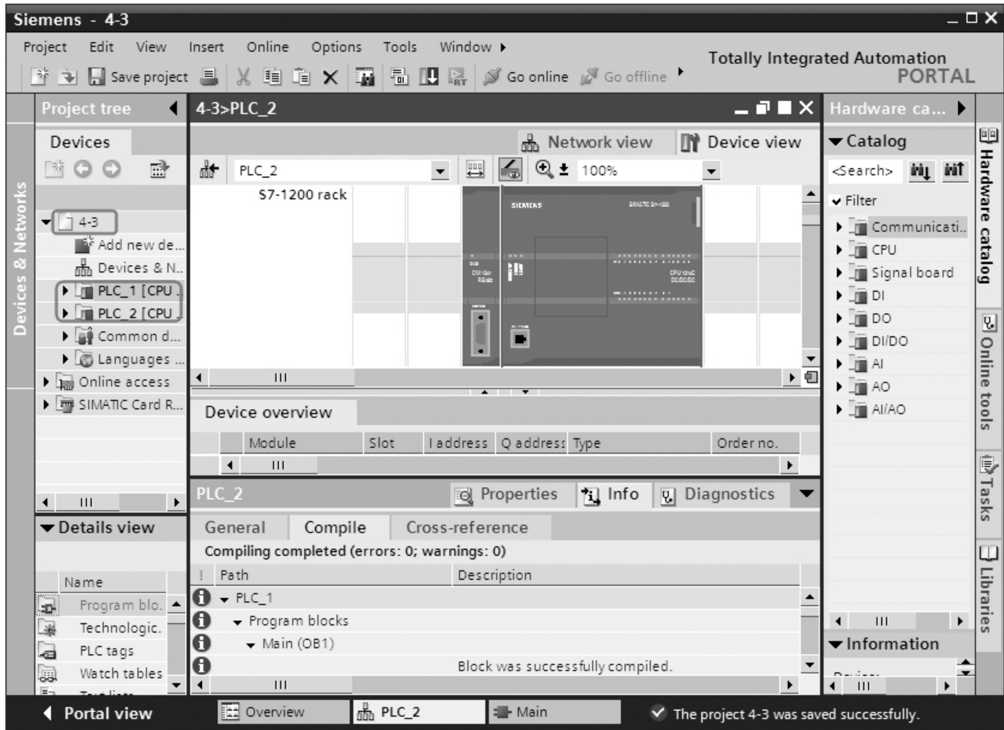


图 4-48 新建工程，并添加硬件

选中主站的 CPU 1214C 模块，打开系统时钟，设置该字节为 MB10，所以 M10.1 是脉冲频率为 5 的脉冲。

【关键点】 主站和从站的硬件可以添加在一个工程中，不必新建两个工程。

2）创建主站和从站的数据块和数组。先在主站中创建数据块，命名为“DB1”，注意 DB1 为绝对寻址方式；再打开数据块 DB1，在数据块中创建数组 A[0..1]，如图 4-49 所示。从站数据块的创建方法和主站完全相同，如图 4-50 所示。

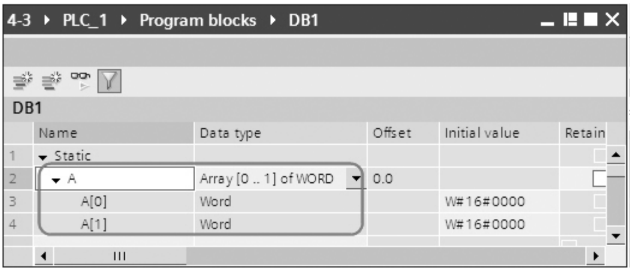


图 4-49　创建主站的数据块和数组

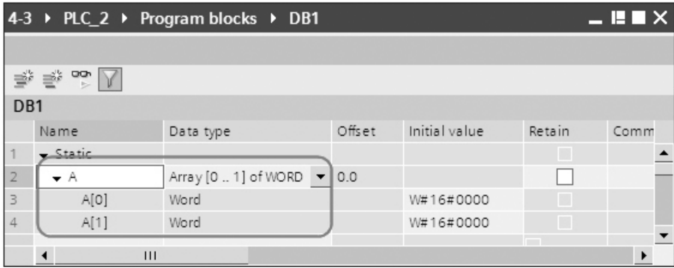


图 4-50　创建从站的数据块和数组

3. 编写程序

（1）相关指令简介

MB_SLAVE 指令的功能是将串口作为 Modbus 从站，响应 Modbus 主站的请求。使用 MB_SLAVE 指令，要求每个端口独占一个背景数据块，背景数据块不能与其他的端口共用。MB_SLAVE 指令的输入/输出参数见表 4-19。

表 4-19　MB_SLAVE 指令的参数表

指　　令	输入/输出	说　　明	数据类型
"MB_SLAVE_DB" %FB1082 "MB_SLAVE" EN ENO MB_ADDR NDR MB_HOLD_REG DR ERROR STATUS	EN	使能	BOOL
	MB_ADDR	从站站地址，有效值为 0～247	USINT
	MB_HOLD_REG	保持存储器数据块的地址	VARIANT
	NDR	新数据是否准备好，0－无数据，1－主站有新数据写入	BOOL
	DR	读数据标志，0－未读数据，1－主站读取数据完成	BOOL
	STATUS	故障代码	WORD
	ERROR	是否出错，0－无错误，1－有错误	BOOL

（2）程序编写

主站程序如图 4-51 和图 4-52 所示。MB_COMM_LOAD 指令只需要首次起动时，运行一次即可。

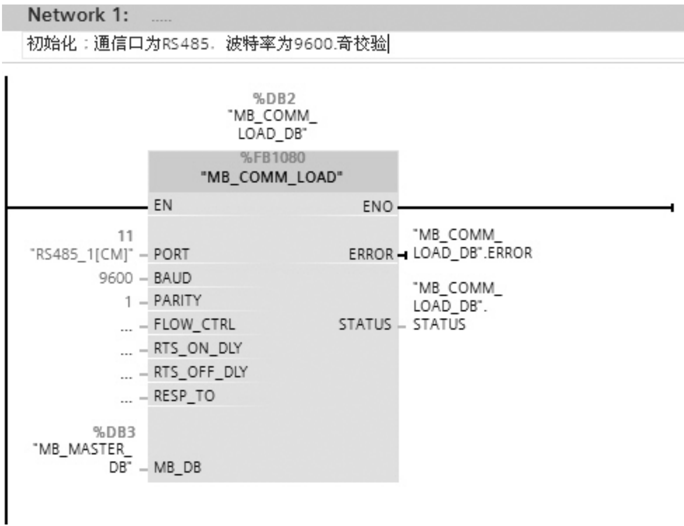


图 4-51　主站程序（OB100 中）

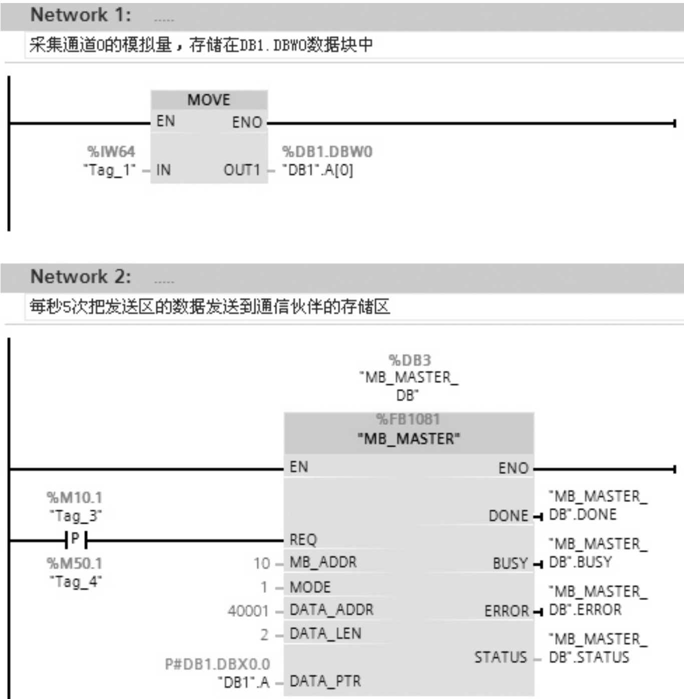


图 4-52　主站程序（OB1 中）

【关键点】REQ 是上升沿有效，M10.1 是 5 Hz 的时间脉冲，也就是每秒产生 5 次脉冲，

每秒 5 次把数据发送出去。CPU1214C 的集成的模拟量通道有两个，通道 0 的地址是 IW64。

从站程序如图 4-53 和图 4-54 所示。

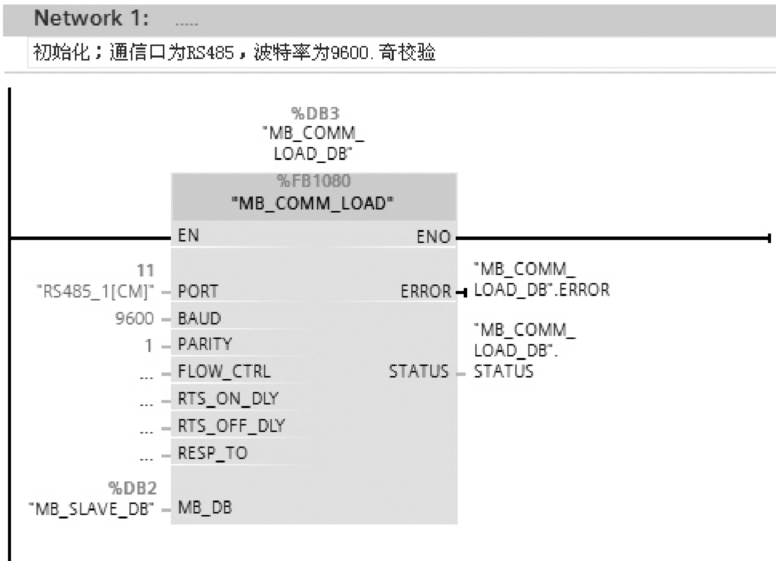


图 4-53　从站程序（OB100 中）

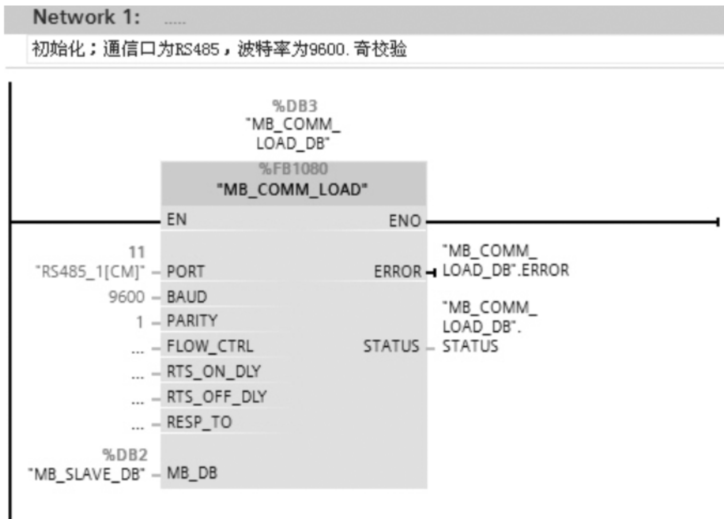


图 4-54　从站程序（OB1 中）

4.6　MPI 通信

4.6.1　MPI 通信简介

MPI 网络可用于单元层，它是多点接口（Multi Point Interface）的简称，是西门子公司开发的用于 PLC 之间通信的保密协议。MPI 通信是当通信速率要求不高、通信数据量不大

时，可以采用的一种简单经济的通信方式。

MPI 主要的优点是 CPU 可以同时与多个设备建立通信联系。也就是说，编程器、HMI 设备和其他的 PLC 可以连接在一起，并同时运行。编程器通过 MPI 接口生成的网络还可以访问所连接硬件站上的所有智能模块。可同时连接的其他通信对象的数目取决于 CPU 的型号。例如，CPU314 的最大连接数为 4，CPU416 为 64。

MPI 接口的主要特性如下：

- RS-485 物理接口。
- 传输率为 19.2 kbit/s 或 184.8 kbit/s 或 1.5 Mbit/s。
- 最大连接距离为 50 m（2 个相邻节点之间），有两个中继器时为 1100 m，如图 4-55 所示。采用光纤和星形耦合器时为 23.8 km。

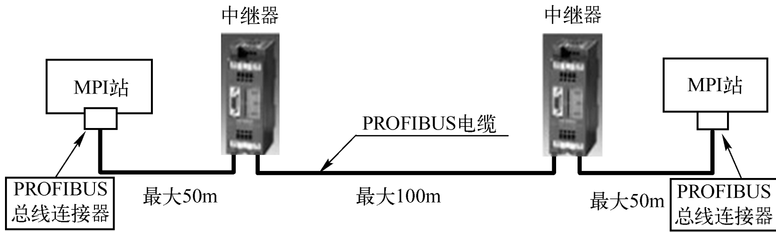


图 4-55　MPI 通信（带中继器）

- 采用 PROFIBUS 元件（电缆、连接器）。

MPI 通信有全局数据通信、基本通信和扩展通信，以下分别介绍。

① 全局数据通信。这种通信方法通过 MPI 接口在 CPU 间循环地交换数据，而不需要编程。当过程映像被刷新时，在循环扫描检测点上进行数据交换。对于 S7-400 PLC，数据交换可以用 SFC 来起动。全局数据可以是输入、输出、标志位、定时器、计数器和数据块区。

数据通信不需要编程，而是利用全局数据表来配置。不需要 CPU 的连接用于全局数据通信。

② 基本通信。这种通信方法可用于所有 S7-300/400 CPU，它通过 MPI 子网或站中的 K 总线来传送数据。系统功能（SFC），例如 X_SEND（在发送端）和 X_RCV（在接收端）被用户程序调用。最大用户数据量为 76B。当系统功能被调用时，通信连接被动态地建立和断开。在 CPU 上需要有一个自由的连接。

③ 扩展通信。这种通信方法可用于所有的 S7-400 CPU。通过任何子网（MPI、PROFIBUS、Industrial Ethernet）可以传送最多 64 KB 的数据。它是通过系统功能块（SFB）来实现的，支持有应答的通信。数据也可以读出或写入到 S7-300（PUT/GET 块）。不仅可以传送数据，而且可以执行控制功能，例如控制通信对象的起动和停机。这种通信方法需要配置连接（连接表）。该连接在一个站的全起动时建立并且一直保持。在 CPU 上需要有自由的连接。

4.6.2　S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的 MPI 通信

S7-200 与 S7-300 之间的 MPI 通信只能采用单边无组态通信，也就是通信无需组态。以下通过一个例子说明这种通信的方法。

【例 4-7】有两台设备，分别由一台 CPU 314C-2DP 和一台 CPU 226CN 控制，从设备 1 上的 CPU 314C-2DP 发出起停控制命令，设备 2 的 CPU 226CN 收到命令后，对设备 2 进行起停控制。同理设备 2，也能发出信号，对设备 1 进行启停控制。

【解】

将设备 1 上的 CPU314C-2DP 作为主站，主站的 MPI 地址为 2，将设备 2 上的 CPU 226CN 作为从站，从站的 MPI 地址为 3。

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP2。

② 1 台 CPU 314C-2DP。

③ 1 台 CPU 226CN。

④ 1 台 EM277。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

⑥ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）。

⑦ 1 套 STEP 7 Micro/WIN V4.0 SP9。

MPI 通信硬件配置图如图 4-56 所示，PLC 接线图如图 4-57 所示。

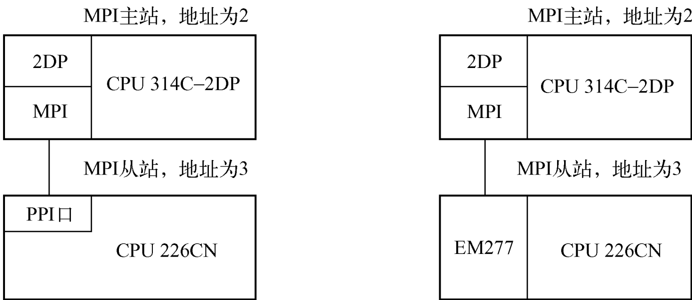


图 4-56　MPI 通信硬件配置图

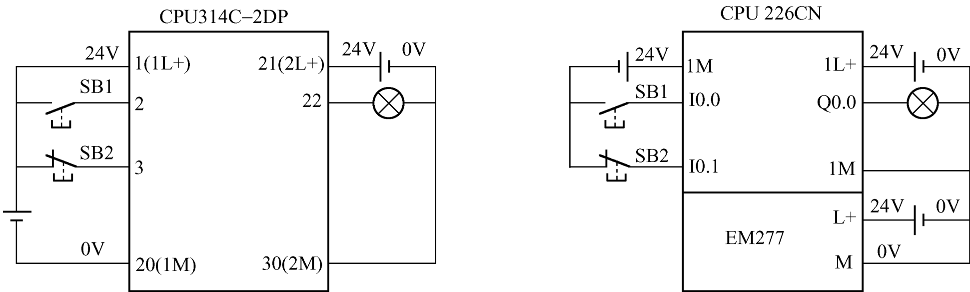


图 4-57　PLC 接线图

从图 4-56 可以看出 S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 间的 MPI 通信有两种配置方案。方案 1 只要将 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）连接在 S7-300 PLC 的 MPI 接口和 S7-200 PLC 的 PPI 接口上即可，而方案 2 却需要另加一个 EM277 模块，显然成本多一些，但若 S7-200 PLC 的 PPI 接口不够用时，方案 2 是可以选择的配置方案。

2. 硬件组态

S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的 MPI 通信只能采用无组态通信，无组态通信指通信无需组态，欲完成通信任务，只需要编写程序即可。只要用到 S7-300，硬件组态还是不可缺少的，这点读者必须清楚。

1）新建工程并插入站点。新建工程，命名为“MPI_200”，再插入站点，重命名为“MASTER”，如图 4-58 所示，双击“硬件”，打开硬件组态界面。



图 4-58　新建工程并插入站点

2）组态主站硬件。先插入导轨，再插入 CPU 模块，如图 4-59 所示，双击“CPU 314C-2DP”，打开 MPI 通信参数设置界面，单击“属性”按钮，如图 4-60 所示。

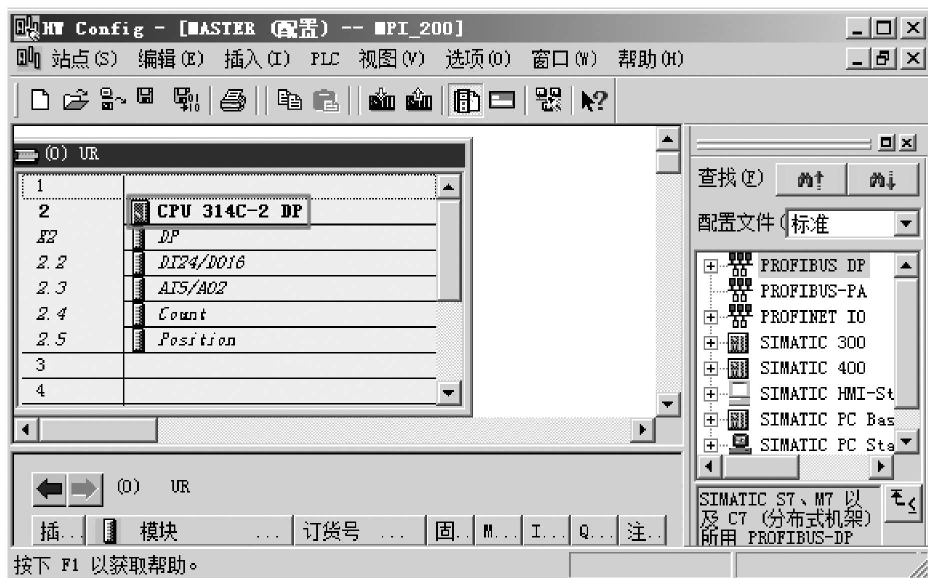


图 4-59　组态主站硬件

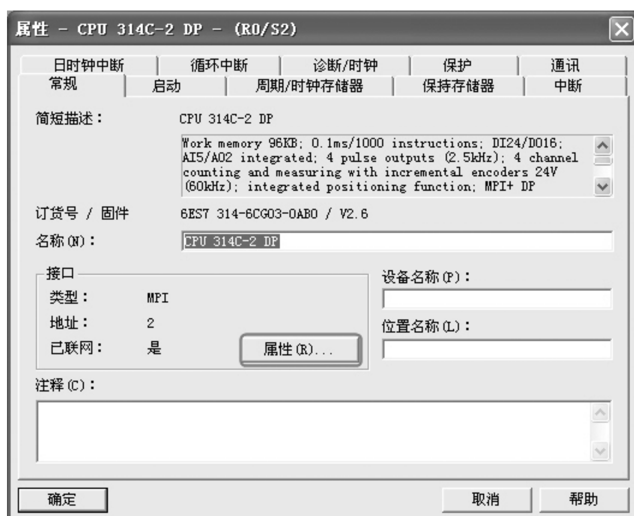


图 4-60　打开 MPI 通信参数设置界面

3）设置主站的 MPI 通信参数。先选定 MPI 的通信波特率为默认的“184.8Kbps”，再选定主站的 MPI 地址为“2”，然后单击“确定”按钮，如图 4-61 所示，最后编译保存和下载硬件组态，在此不再重复叙述。

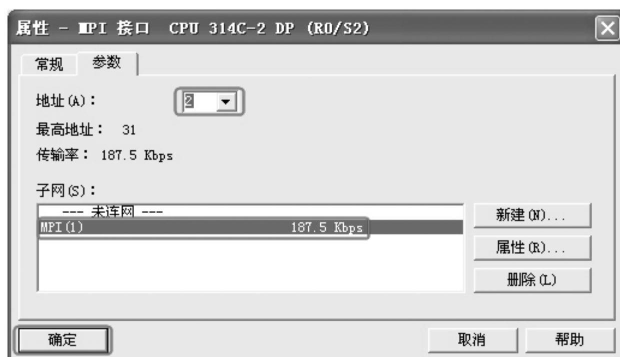


图 4-61　设置主站的 MPI 通信参数

4）回到管理器界面，插入组织块 OB100 和 OB35，如图 4-62 所示。



图 4-62　插入组织块 OB100 和 OB35

5）打开系统块。完成以上步骤后，S7-300 PLC 的硬件组态完成，但还必须设置 S7-200 PLC 的通信参数。先打开 STEP 7 - Micro/WIN，选定工具条中的“系统块”按钮，并双击之，如图 4-63 所示。

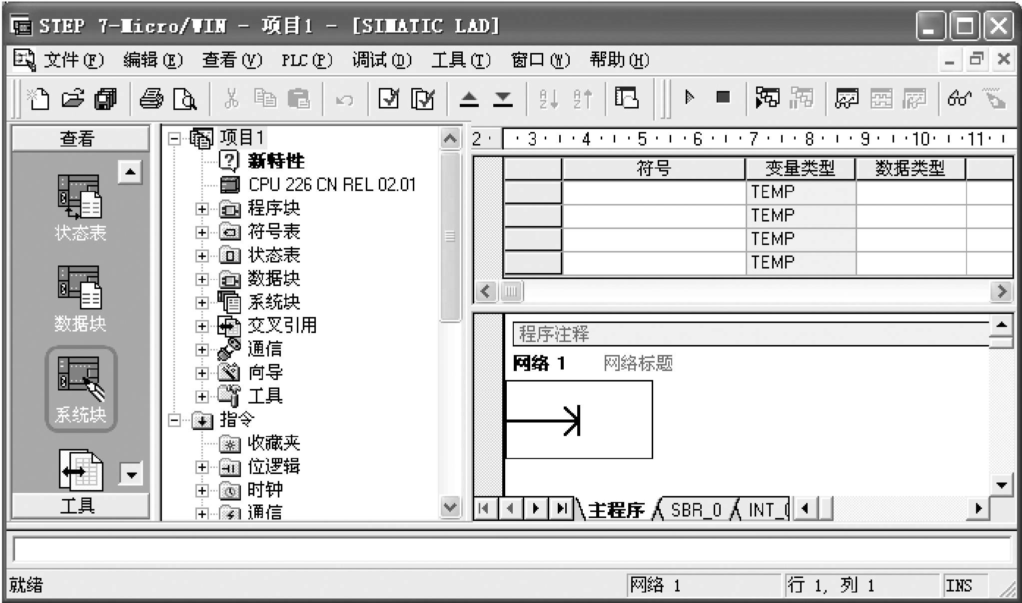


图 4-63　打开系统块

6）设置从站的 MPI 通信参数。先将用于 MPI 通信的接口（本例为 PORT0）的地址设置成“3”，一定不能设定为“2”，再将波特率设定为“184.8 kbps”，这个数值与 S7-300 PLC 的波特率必须相等，最后单击“确认”按钮，如图 4-64 所示，这一步不少初学者容易忽略，其实这一步非常关键，因为各站的波特率必须相等，这是一个基本原则。系统块设置完成后，还要将其下载到 S7-200 PLC 中，否则通信是不能建立的。

【**关键点**】硬件组态时，必须将 S7-200 PLC 和 S7-300 PLC 的波特率设置值设置相等，此外 S7-300 PLC 的硬件组态和 S7-200 PLC 的系统块必须下载到相应的 PLC 中才能起作用。

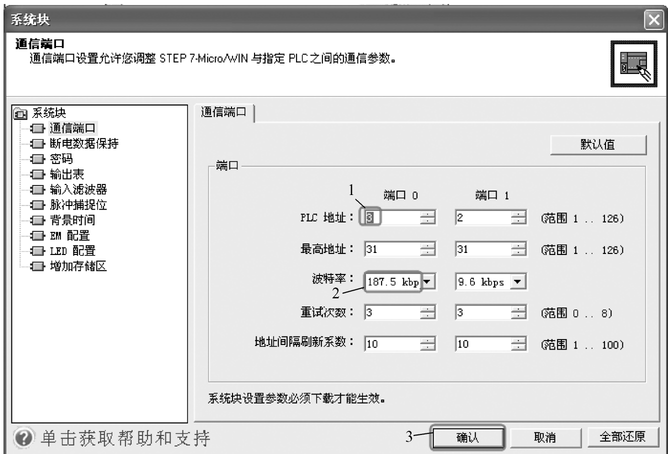


图 4-64　设置从站站的 MPI 通信参数

3. 相关指令介绍

无组态连接的 MPI 的通信适合 S7-400 PLC、S7-300 PLC、S7-200 PLC 之间的通信，通过调用 SFC66、SFC67、SFC68 和 SFC69 来实现。顾名思义，MPI 无组态连接就是 MPI 通信时，不需要组态通信，只要编写通信程序即可实现通信。无组态连接的 MPI 通信分为双边编程通信方式和单边编程通信方式。S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的 MPI 通信只能采用单边无组态通信方式。

X_PUT（SFC68）是发送数据指令，通过 SFC68“X_PUT”，将数据写入不在同一个本地 S7 站中的通信伙伴。当 REQ = 1 时，调用 SFC68，激活写作业。此后，直到 BUSY = 0（表示接收到应答），便可以继续调用 SFC68 指令。

必须确保由 SD 参数（在发送 CPU 上）定义的发送区和由 VAR_ADDR 参数（在通信伙伴上）定义的接收区长度相同。SD 的数据类型还必须和 VAR_ADDR 的数据类型相匹配。其输入和输出的含义见表 4-20。

表 4-20　X_PUT（SFC68）指令格式

LAD	输入/输出	含　义	数据类型
"X_PUT" EN　ENO REQ　RET_VAL CONT　BUSY DEST_ID VAR_ADDR SD	EN	使能	BOOL
	REQ	发送请求	BOOL
	CONT	发送完整性	BOOL
	DEST_ID	对方的 MPI 地址	WORD
	VAR_ADDR	对方的数据区	ANY
	SD	本机的数据区	ANY
	RET_VAL	返回数值（如错误值）	INT
	BUSY	发送是否完成	BOOL

X_GET（SFC67）接收数据的指令，通过 SFC67"X_GET"，可以从本地 S7 站以外的通信伙伴中读取数据。在通信伙伴上没有相应 SFC。在通过 REQ = 1 调用 SFC 之后，激活读作业。此后，可以继续调用 SFC，直到 BUSY = 0 指示数据接收为止。然后，RET_VAL 便包含了以字节为单位的、已接收的数据块的长度。

必须确保由 RD 参数定义的接收区（在接收 CPU 上）至少和由 VAR_ADDR 参数定义的要读取的区域（在通信伙伴上）一样大。RD 的数据类型还必须和 VAR_ADDR 的数据类型相匹配。其输入和输出的含义见表 4-21。

表 4-21　X_GET（SFC67）指令格式

LAD	输入/输出	含　义	数据类型
"X_GET" EN　ENO REQ　RET_VAL CONT　BUSY DEST_ID　RD VAR_ADDR	EN	使能	BOOL
	REQ	接收请求	BOOL
	CONT	接收完整性	BOOL
	DEST_ID	对方的 MPI 地址	WORD
	VAR_ADDR	对方的数据区	ANY
	RD	本机的数据区	ANY
	RET_VAL	返回数值（如错误值）	INT
	BUSY	接收是否完成	BOOL

4. 程序编写

X_PUT（SFC68）发送数据的指令和 X_GET（SFC67）接收数据的指令是系统功能，也就是系统预先定义的功能，只要将“库”展开，再展开“Standart libarary（标准库）”，选定“X_PUT”或者“X_GET”，再双击之，“X_PUT”或者“X_GET”就自动在网络中指定的位置弹出，如图 4-65 所示。



图 4-65　X_PUT 和 X_GET 指令的位置

主站的梯形图如图 4-66 ~ 图 4-68 所示，从站的梯形图如图 4-69 所示，有时从站可以不编写梯形图程序。

程序段 1：标题：

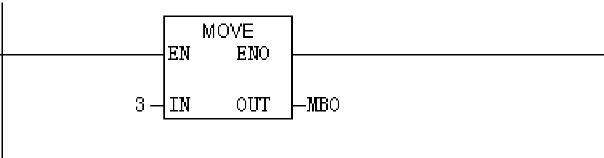
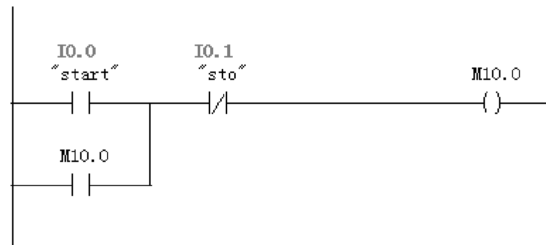


图 4-66　主站 OB100 中的梯形图

【关键点】 本例主站地址为“2”，从站的地址为“3”，因此硬件配置采用方案 1（图 4-56）时，必须将“PPI 口”的地址设定为“3”。而采用方案 2（图 4-56）时，必须将 EM277 的地址设定为“3”，设定完成后，还要将 EM277 断电，新设定的地址才能起作用。指令“X_PUT”的参数 SD 和 VAR_ADDR 的数据类型可以据实际情况确定，但在同一程序中数据类型必须一致。

【例 4-8】 某设备上有一台 CPU226CN，CPU226CN 上的两个 PPI 接口已经被占用，现要改造此设备，需要添加一台 TP177B 触摸屏，请设计一个方案。

⊟ **程序段 1：标题：**



⊟ **程序段 2：标题：**

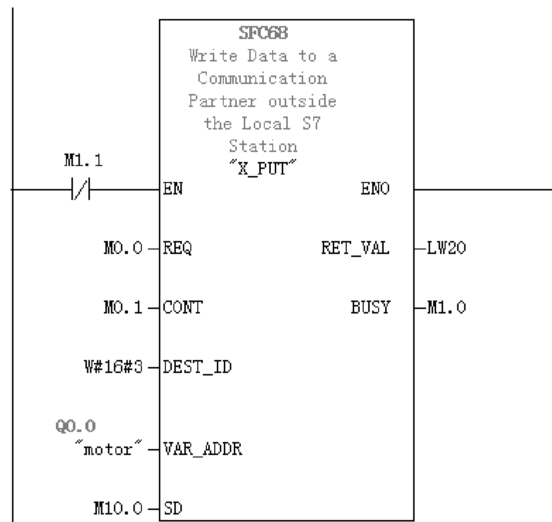


图 4-67　主站 OB1 中的梯形图

⊟ **程序段 1：标题：**

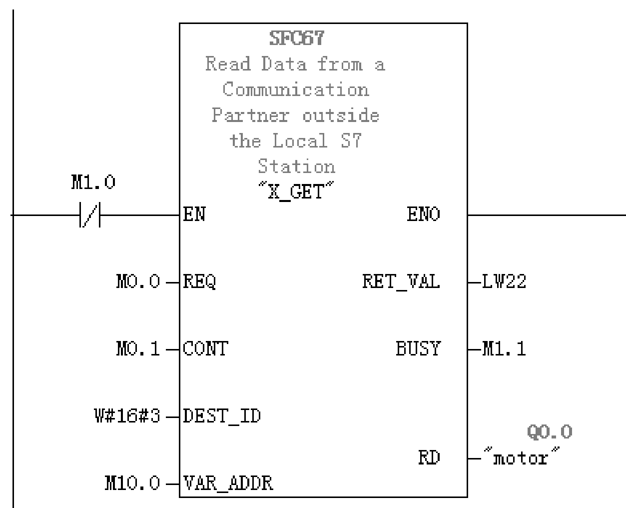


图 4-68　主站 OB35 中的梯形图

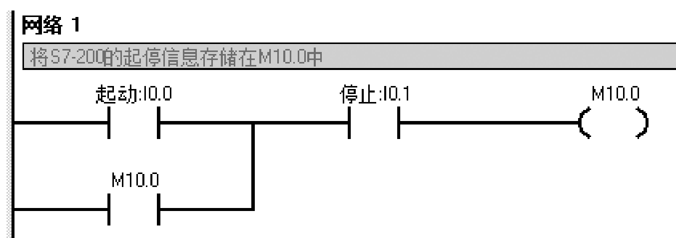


图 4-69　从站梯形图

【解】

CPU226CN 上的两个 PPI 接口已经被占用，所以要建立 TP177B 触摸屏和 CPU226CN 的通信，就必须扩展 CPU226CN 通信接口。扩展一个 EM277 模块即可，TP177B 触摸屏和 CPU226CN 可以采用 MPI 或者 PROFIBUS 通信，硬件配置方案如图 4-70 所示。



图 4-70　硬件配置方案

5. SFC 通信特点

S7300/400 与 S7-200 的 MPI 通信是一种 SFC 通信，SFC 通信的特点如下：

1）使用 MPI 子网或者在一个站内进行数据交换。

2）与 SFB 通信相比无需组态连接。

3）与对方的连接是动态建立和断开的。

4）它是一种小数据量的通信，最多可传输 76 个字节的数据，这比后续介绍 SFB 通信的数据量少得多。

4.6.3　S7-300 PLC 之间的 MPI 通信

S7-300 PLC 之间的 MPI 通信除了可以采用前述的无组态通信方式外，还可以采用全局数据通信方式，这种通信方式可以在 S7-300 PLC 与 S7-300 PLC、S7-400 PLC 与 S7-300 PLC、S7-400 PLC 与 S7-400 PLC 之间通信，用户不需要编写程序，在硬件组态时组态所有 MPI 的 PLC 站之间的发送区与接收区即可。以下用一个例子介绍 S7-300 PLC 之间的全局数据 MPI 通信。

【例 4-9】有两台设备，由 1 台 CPU313C-2DP 和 CPU314C-2DP 控制，要求实时从设备 1 上的 CPU313C-2DP 的 MB10～MB14 发出 5 个字节到设备 2 的 CPU314C-2DP 的 MB10～MB14，从设备 2 上的 CPU314C-2DP 的 MB30～MB34 发出 5 个字节到设备 1 的 CPU313-2DP 的 MB30～MB34。

【解】

将设备 1 上的 CPU313C-2DP 作为主站，主站地址为 2，将设备 2 上的 CPU314C-2DP 作为从站，从站地址为 3。

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP2。

② 1 台 CPU313C-2DP 和 1 台 CPU314C-2DP。
③ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。
④ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）。
MPI 通信硬件配置图如图 4-71 所示。

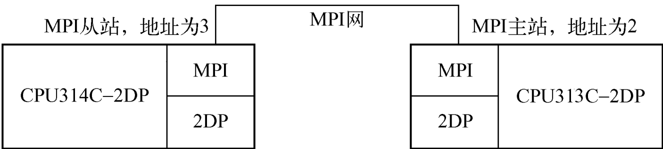


图 4-71　MPI 通信硬件配置图

2. 硬件组态

1）新建工程和插入站点。新建工程，本例的工程名为“MPI_300”，再在工程中插入两个站点，并重命名为“MASTER”和“SLAVE”，选定站点“MASTER”，双击“硬件”，如图 4-72 所示。

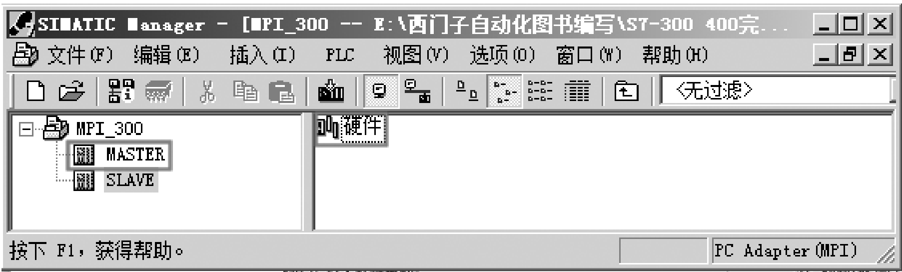


图 4-72　新建工程和插入站点

2）插入导轨。双击“Rail”，弹出导轨，如图 4-73 所示。

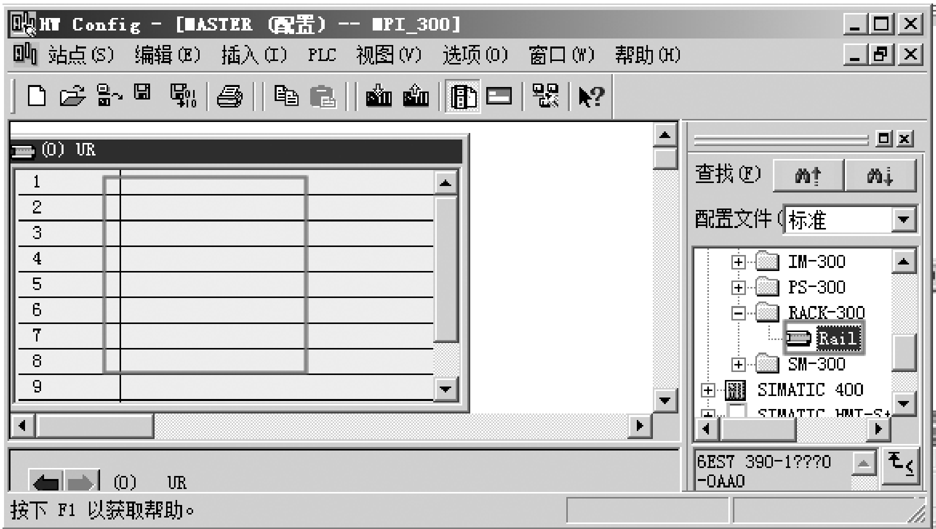


图 4-73　插入导轨

3）打开 CPU313C-2DP 属性。双击槽位 2 的“CPU 313C-2DP”，如图 4-74 所示。

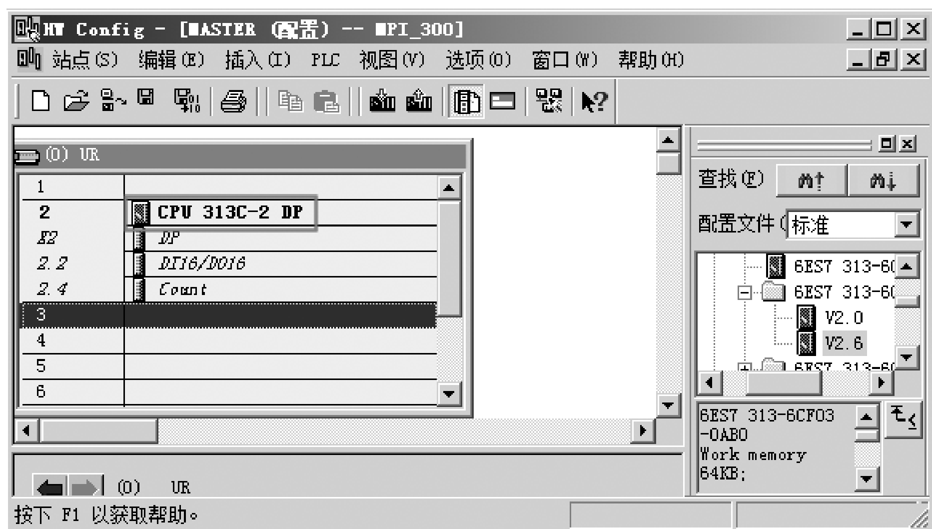


图 4-74　打开 CPU 314C-2DP 属性

4）设置站 2 的 MPI 通信参数。单击“属性”按钮，如图 4-75 所示，弹出设置 MPI 通信参数界面，如图 4-76 所示，设定 MPI 的地址为“2”，MPI 的通信波特率为“184.8 Kbps”，再单击“确定”按钮。

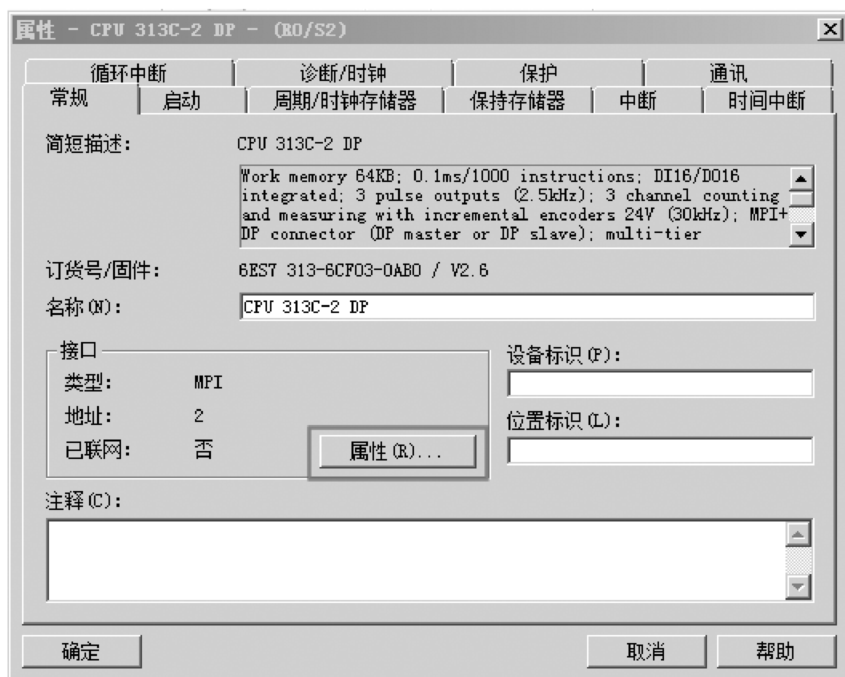


图 4-75　打开 MPI 通信参数设置界面

5）站 3 的硬件组态。回到图 4-72，选定“SLAVE”，双击“硬件”，弹出硬件组态界

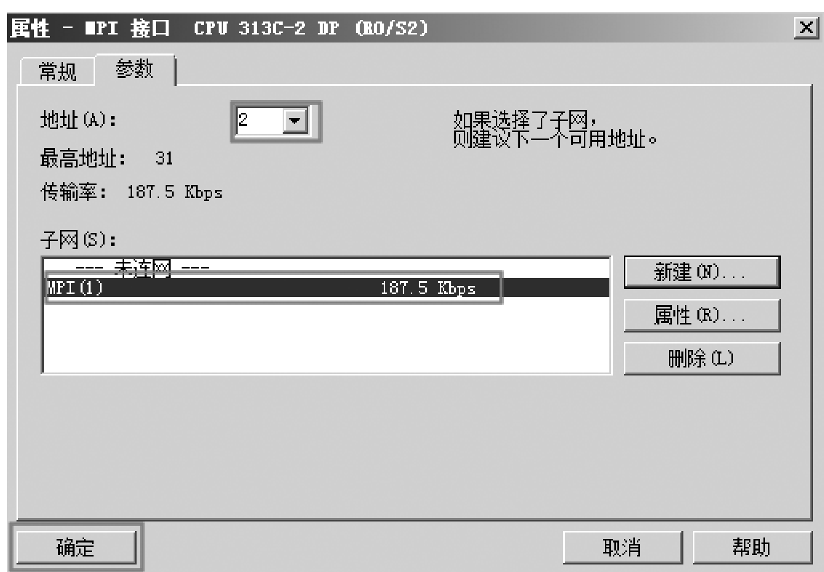


图 4-76 设置站 2 的 MPI 通信参数

面，先插入导轨，再插入 CPU 模块，如图 4-77 所示。双击槽位 2 的“CPU314C-2DP”。

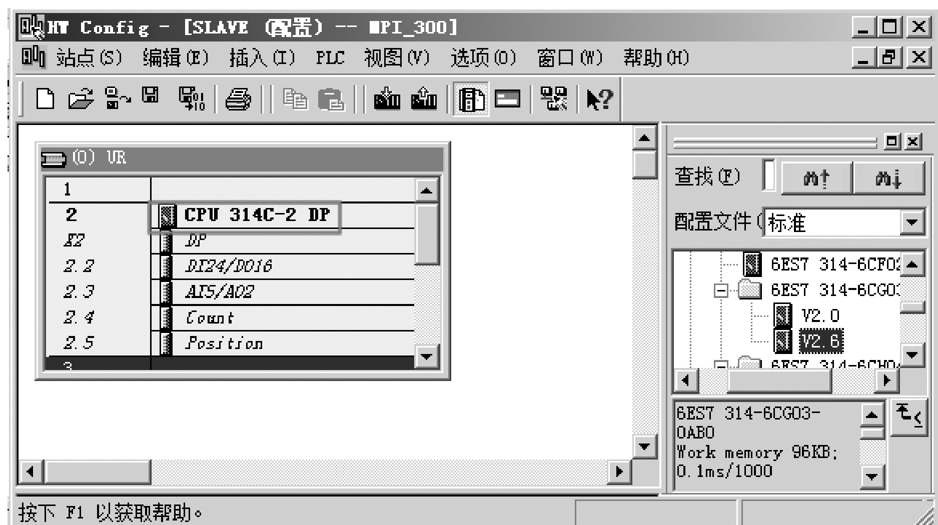


图 4-77 站 3 的硬件组态

6）打开 MPI 通信参数设置界面。单击“属性”按钮，如图 4-78 所示，弹出站 3 的 MPI 通信参数设置界面，如图 4-79 所示，设定 MPI 的地址为“3”，MPI 的通信波特率为“184.8 Kbps”，再单击“确定”按钮。

7）打开 MPI 网络。双击“MPI(1)”，如图 4-80 所示，弹出 MPI 的网络，如图 4-81 所示。

8）打开全局变量发送、接收区组态。选中标记“1”处的“MPI(1)”网络线，再选中菜单“选项”，单击子菜单“定义全局数据”，打开全局变量发送、接收区组态如图 4-82 所示。

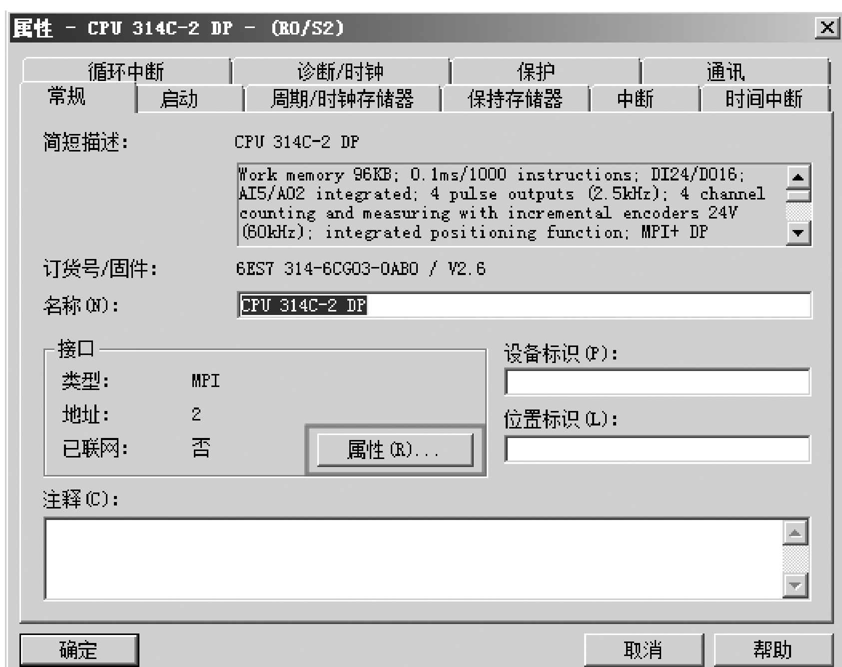


图 4-78　打开 MPI 通信参数设置界面



图 4-79　设置站 3 的 MPI 通信参数



图 4-80　打开 MPI 网络（1）

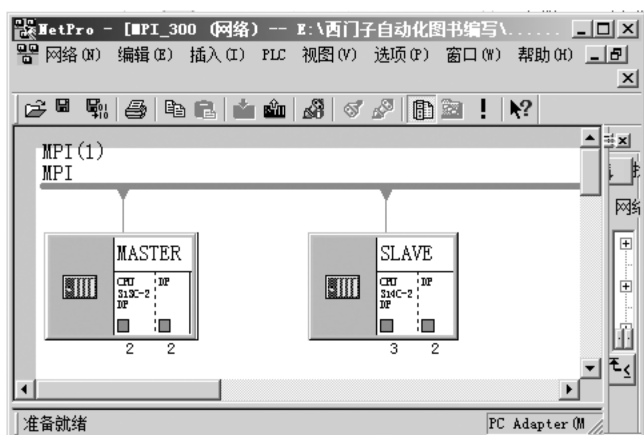


图 4-81 打开 MPI 网络（2）

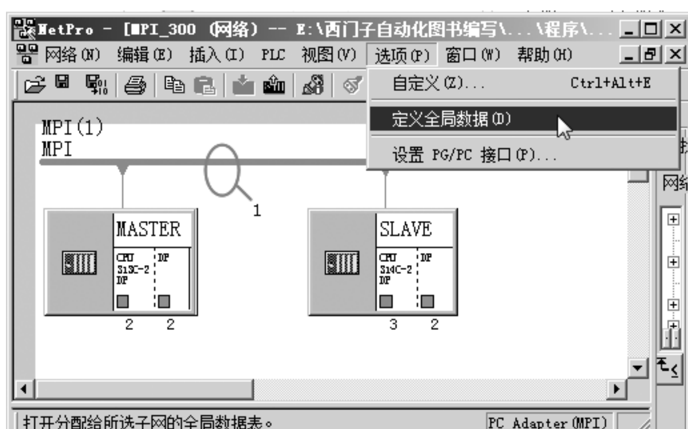


图 4-82 打开全局变量发送、接收区组态

9）MPI 全局变量组态。双击标记“1”处，如图 4-83 所示。

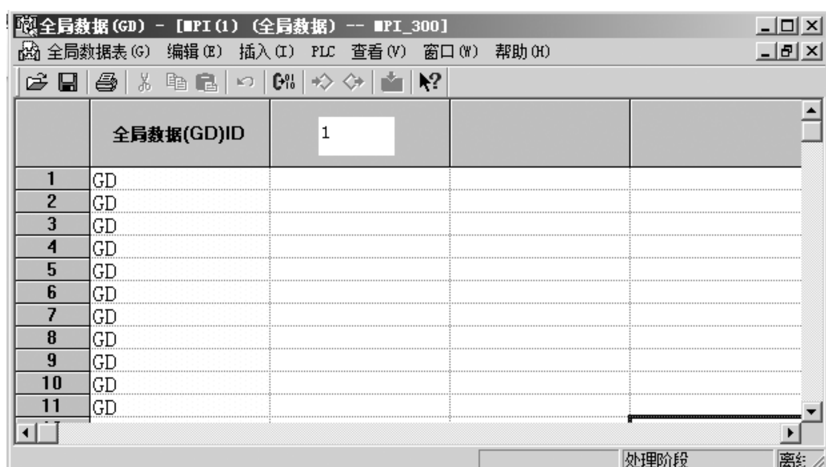


图 4-83 MPI 全局变量组态

10）选定 CPU。选定“MASTER”，再选定“CPU313C-2DP”，再单击“确定”按钮，如图 4-84 所示。



图 4-84　选定 CPU

11）定义发送区的数据组。输入 MB10.5，其含义是：将站点 MASTER MB10 开始的 5 个字节发送出去，如图 4-85 所示。

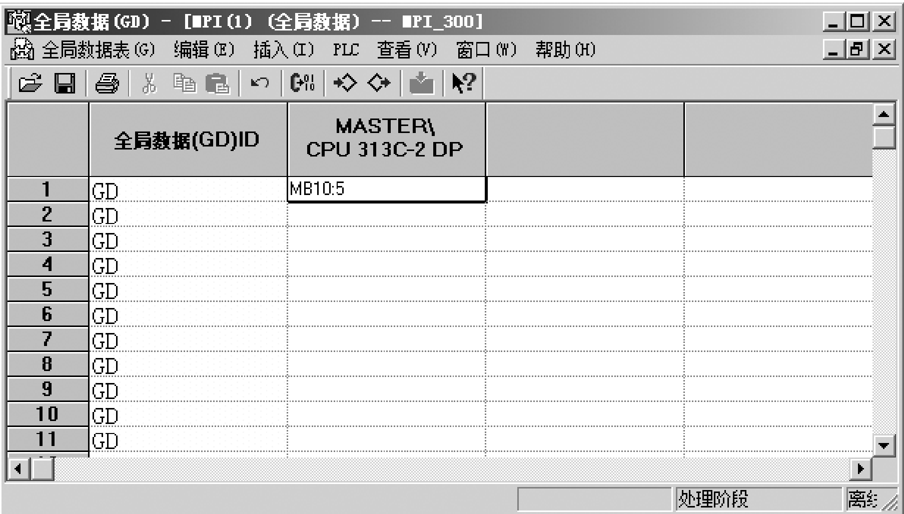


图 4-85　定义发送区的数据组

12）发送区的数据组的组态。选定“编辑”菜单，单击“发送器”，定义发送区的数据组，如图 4-86 所示，其他发送区和接收数据组的组态方法类似，如图 4-87 所示。含义是：将站点 MASTER 的从 MB10 开始的 5 个字节发送到 SLAVE 的从 MB10 开始的 5 个字节的存储区中，将站点 SLAVE 的从 MB30 开始的 5 个字节发送到 MASTER 的从 MB30 开始的 5 个字节的存储区中。具体数据流向见表 4-22。



图 4-86　发送区的数据组的组态

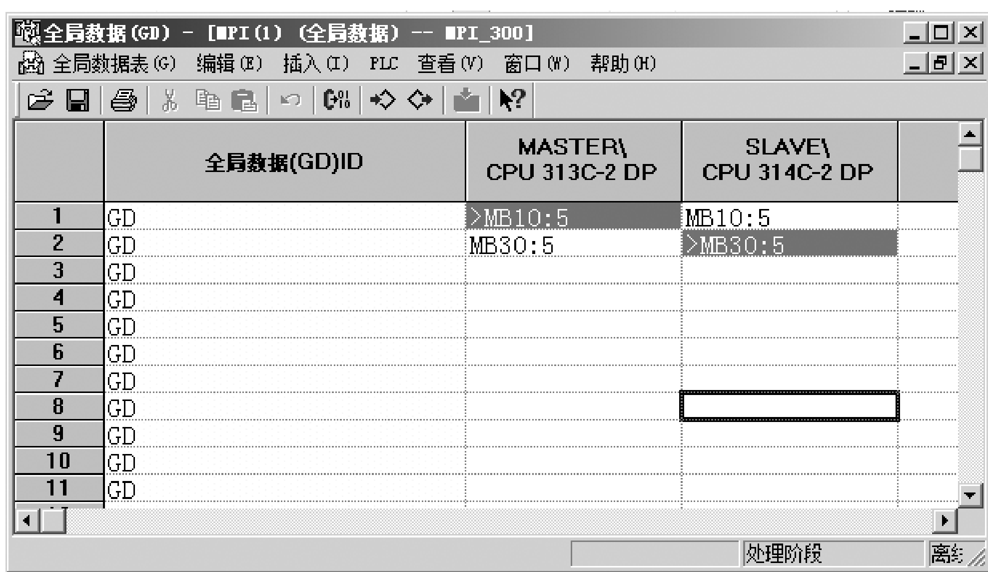


图 4-87　发送区和接收的数据组的组态

表 4-22　全局 MPI 数据流向

序　　号	MASTER	对应关系	SLAVE
1	MB10 ~ MB14	→	MB10 ~ MB14
2	MB30 ~ MB34	←	MB30 ~ MB34

13）编译和保存组态内容。单击“保存”按钮即可，如图 4-88 所示。

14）下载组态信息。单击工具栏中的“下载”按钮，如图 4-89 所示。选定 MASTER 和 SLAVE 分别下载到对应的站点中去，如图 4-90 所示。

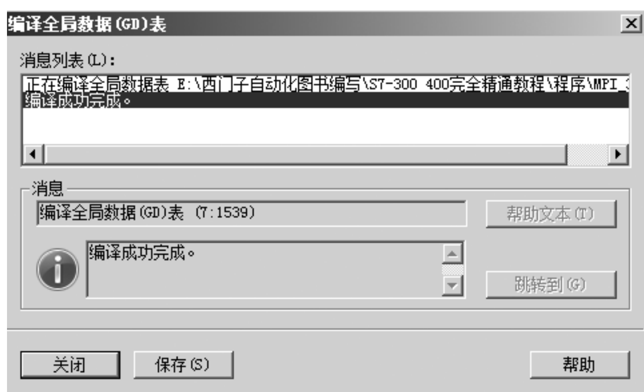


图 4-88　保存组态内容



图 4-89　下载组态信息（1）



图 4-90　下载组态信息（2）

15）组态完成。组态完成后，经过编译界面如图 4-91 所示。GD X. Y. Z（如 GD 1. 2. 1）的含义见表 4-23。

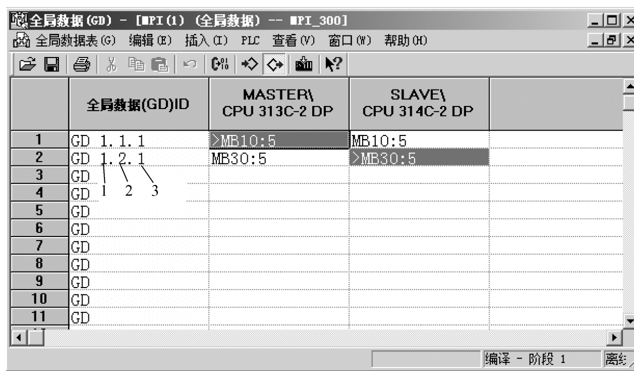


图 4-91　组态完成界面

表 4-23　GD X. Y. Z 的含义

序　　号	参　　数	含　　义
1	X	全局变量数据包的循环次数，次数与 CPU 有关，S7-300 最多支持 4 个
2	Y	一个循环中有几个数据包
3	Z	是一个数据包中的数据区

【关键点】 本例的关键在于将 MPI 的通信组态正确，还有一点要特别注意，就是站 2 哪

个数据区将数据送到站3哪个数据区中，站2又从站3哪个数据区接收数据，这些关系是绝对不能弄错的，否则不可能建立正确的通信。

完成题目的要求做以上组态即可，不需要编写程序。

4.6.4 S7-300/400 PLC与S7-400 PLC之间的MPI通信

在前面的章节讲解了无组态MPI通信和全局数据MPI通信，这些MPI的通信方式其实都适用于S7-300/400 PLC与S7-400 PLC之间的MPI通信，但组态MPI通信方式就只适用于后者，以下用一个例子讲解S7-300 PLC与S7-400 PLC之间的MPI通信。组态方式的MPI通信的好处是处理的数据量大。

【例4-10】 有两台设备，由1台CPU 416-2DP和CPU314C-2DP控制，要求实时从设备1上CPU 416-2DP的MB10～MB14发出5个字节到设备2的CPU314C-2DP的MB10～MB14，对从设备2上的CPU314C-2DP的MB30～MB34发出5个字节到设备1的CPU416-2DP的MB30～MB34。

【解】

将设备1上的CPU416-2DP作为主站，主站地址为2，将设备2上的CPU314C-2DP作为从站，从站地址为3。

1. 主要软硬件配置

① 1套STEP 7 V5.5 SP2。

② 1台CPU 314C-2DP。

③ 1台CPU 416-2DP。

④ 1根编程电缆（或者CP5611卡）。

⑤ 1根PROFIBUS网络电缆（含两个网络总线连接器）。

MPI通信硬件配置图如图4-92所示。

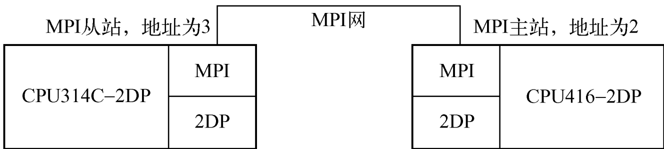


图4-92 MPI通信硬件配置图

2. 硬件组态

1）新建工程。新建工程，命名为“MPI_400”，插入站点和CPU，并将建立SLAVE和MASTER的MPI连接，其中MASTER的MPI地址为“2”，SLAVE的MPI地址为“3”，如图4-93所示，再单击“MPI（1）”标志，弹出如图4-94所示的界面。

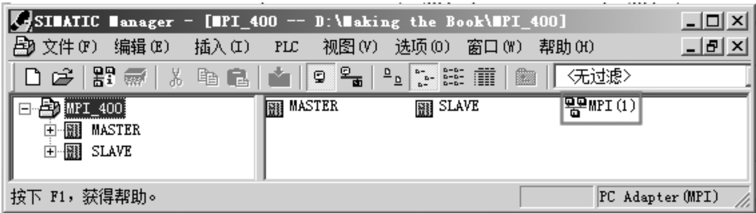


图4-93 新建工程

2）新建连接。如图 4-94 所示，选中“1”处，单击鼠标右键，弹出快捷菜单，单击“插入新连接”，弹出如图 4-95 所示的界面。

3）选择 CPU 的连接方式。如图 4-95 所示，选中“CPU314C-2DP”和“S7 连接”，单击“应用”按钮，弹出如图 4-96 所示的界面。

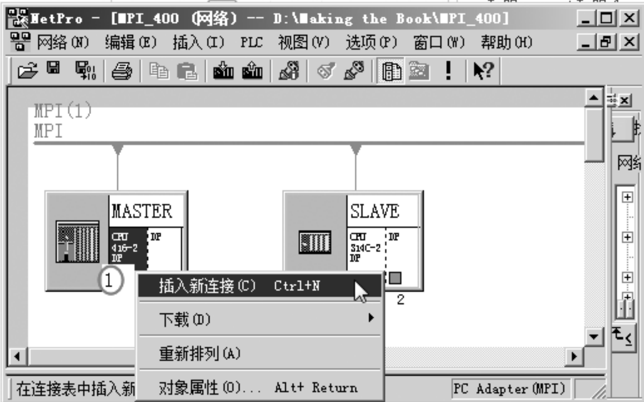


图 4-94　新建连接



图 4-95　选择 CPU 的连接方式

4）选择 MPI 块参数。如图 4-96 所示，单击“确定”按钮，硬件组态完成。



图 4-96　块参数

3. 相关指令介绍

PUT（SFB15）是发送指令，通过使用 SFB15“PUT”，可以将数据写入到远程 CPU。在 REQ 的上升沿处发送数据。在 REQ 的每个上升沿处传送参数 ID、ADDR_1 和 SD_1。在每个

作业结束之后，可以给 ID、ADDR_1 和 SD_1 参数分配新数值。其各参数的含义见表 4-24。

表 4-24　PUT（SFB15）指令格式

LAD	输入/输出	含　义	数据类型
"PUT" EN　ENO REQ　DONE ID　ERROR ADDR_1　STATUS ADDR_2 ADDR_3 ADDR_4 SD_1 SD_2 SD_3 SD_4	EN	使能	BOOL
	REQ	发送请求	BOOL
	ID	地址参数	WORD
	ADDR_1	本地的存储地址	ANY
	SD_1	对方的数据区	ANY
	DONE	是否发送完成	BOOL
	ERROR	是否错误	BOOL
	STATUS	状态	WORD

GET（SFB14）是接收指令，通过 SFB14 “GET”，从远程 CPU 中读取数据。在 REQ 的上升沿处读取数据。在 REQ 的每个上升沿处传送参数 ID、ADDR_1 和 RD_1。在每个作业结束之后，可以分配新数值给 ID、ADDR_1 和 RD_1 参数。其各参数的含义见表 4-25。

表 4-25　GET（SFB14）指令格式

LAD	输入/输出	含　义	数 据 类 型
"GET" EN　ENO REQ　NDR ID　ERROR ADDR_1　STATUS ADDR_2 ADDR_3 ADDR_4 RD_1 RD_2 RD_3 RD_4	EN	使能	BOOL
	REQ	接收请求	BOOL
	ID	地址参数	WORD
	ADDR_1	本地的存储地址	ANY
	RD_1	对方的数据区	ANY
	NDR	是否在接收完成	BOOL
	ERROR	是否错误	BOOL
	STATUS	状态	WORD

【关键点】 PUT（SFB15）和 GET（SFB14）指令的参数 ID 设定如图 4-96 所示，本通信实用 OSI 模型的第 1、2 和 7 层。

4. 编写程序

主站的梯形图程序如图 4-97 和图 4-98 所示。

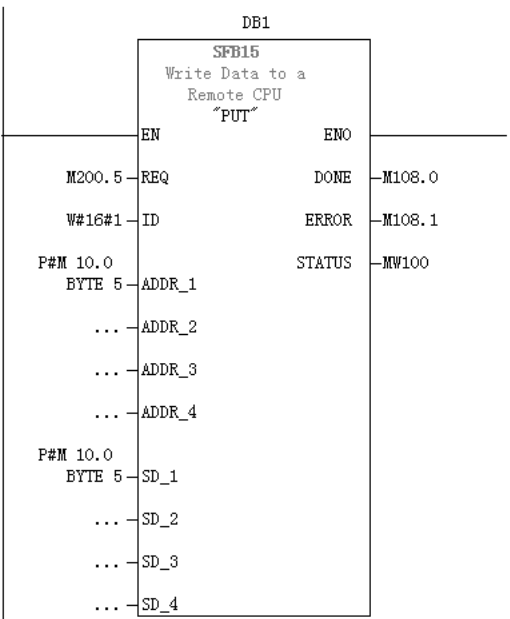


图 4-97　主站 OB35 梯形图

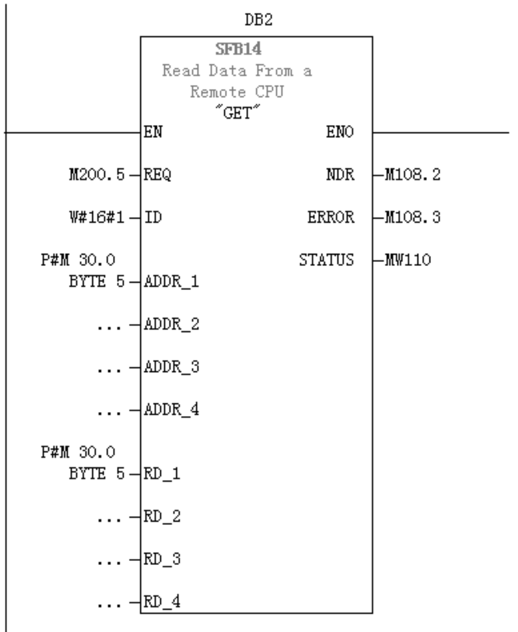


图 4-98　主站 OB1 梯形图

从站中不需要编写程序，注意 MPI、PROFIBUS-DP、以太网的 S7 通信与以上程序相同。

5. SFB 通信特点

SFB 块存在于所有的 S7-400-CPU 中，被用于同 S7/M7-300/400-CPU 交换数据。使用这些块，最多可有 64 KB 的数据通过多种子网（MPI、PROFIBUS、工业以太网）传输。SFB 通信有如下特点：

1）使用 MPI、K - Bus、PROFIBUS 或工业以太网进行数据交换。
2）通过连接表组态连接。
3）通过完全重新起动建立连接并使连接永久存在（即使是在 STOP 模式）。
4）用户数据大小可达 64 KB。
5）通信服务也可用于控制（停止、起动）通信伙伴。
6）SFB 只存在于 S7-400 - CPU，FB 用于 S7-300。
7）通过一个连接可以处理不同的任务。

4.7　PROFIBUS-DP 通信

4.7.1　PROFIBUS-DP 通信简介

PROFIBUS 是西门子的现场总线通信协议，也是 IEC61158 国际标准中的现场总线标准之一。现场总线 PROFIBUS 满足了生产过程现场级数据可存取性的重要要求，一方面它覆盖

了传感器/执行器领域的通信要求，另一方面又具有单元级领域所有网络级通信功能。特别在“分散 I/O”领域，由于有大量的、种类齐全、可连接的现场总线可供选用，因此 PROFIBUS 已成为事实上国际公认的标准。

1. PROFIBUS 的结构和类型

从用户的角度看，PROFIBUS 提供三种通信协议类型：PROFIBUS-FMS、PROFIBUS-DP 和 PROFIBUS-PA。

（1）PROFIBUS-FMS（Fieldbus Message Specification，现场总线报文规范），使用了第一层、第二层和第七层。第七层（应用层）包含 FMS 和 LLI（底层接口）主要用于系统级和车间级不同供应商的自动化系统之间的传输数据，处理单元级（PLC 和 PC）的多主站数据通信。目前 PROFIBUS-FMS 已经很少使用。

（2）PROFIBUS-DP（Decentralized Periphery，分布式外部设备），使用第一层和第二层，这种精简的结构特别适合数据的高速传送，PROFIBUS-DP 用于自动化系统中单元级控制设备与分布式 I/O（例如 ET 200）的通信。主站之间的通信为令牌方式（多主站时，确保只有起作用），主站与从站之间为主从方式（MS），以及这两种方式的混合。三种方式中，PROFIBUS-DP 应用最为广泛，全球有超过 3000 万的 PROFIBUS-DP 节点。

（3）PROFIBUS-PA（Process Automation，过程自动化）用于过程自动化的现场传感器和执行器的低速数据传输，使用扩展的 PROFIBUS-DP 协议。

PROFIBUS 的三种通信协议类型在工业控制中的位置如图 4-99 所示。

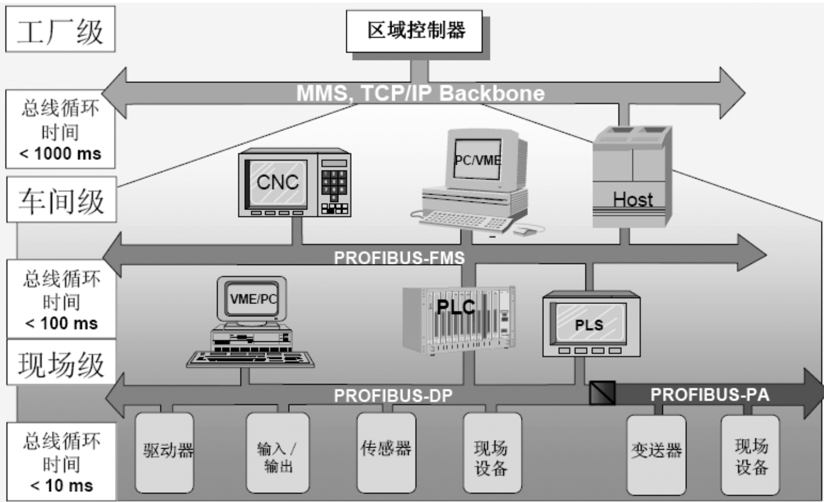


图 4-99 PROFIBUS 的三种通信协议类型在工业控制中的位置

2. PROFIBUS 总线和总线终端器

（1）总线终端器

PROFIBUS 总线符合 EIA EIA RS85 标准，PROFIBUS RS85 的传输以半双工、异步、无间隙同步为基础的。传输介质可以是光缆或者屏蔽双绞线，电气传输每个 RS85 网段最多 32 个站点，在总线的两端为终端电阻，其结构如图 4-100 所示。

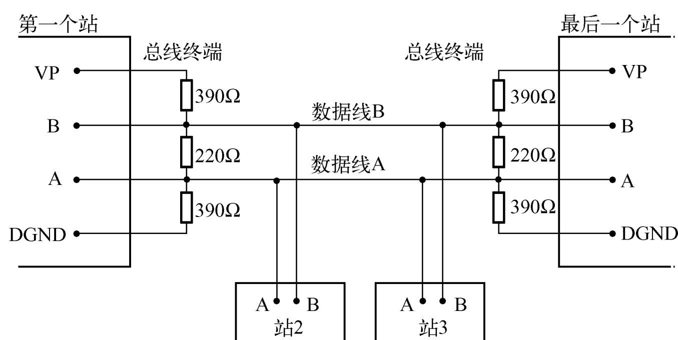


图 4-100　终端电阻的结构

（2）最大电缆长度和传输速率的关系

PROFIBUS-DP 段的最大电缆长度和传输速率有关，传输的速度越大，则传输的距离越近，对应关系如图 4-101 所示。一般设置通信传输速率不大于 500 kbit/s，电气传输距离不大于 400 m（不加中继器）。

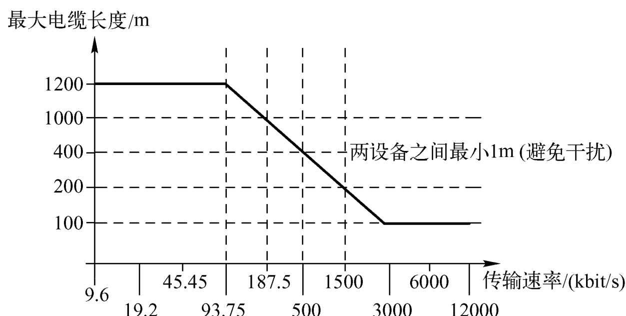


图 4-101　传输距离与波特率的对应关系

（3）PROFIBUS-DP 电缆

PROFIBUS-DP 电缆是专用的屏蔽双绞线，外层为紫色。PROFIBUS-DP 电缆钢结构和功能如图 4-102 所示。外层是紫色绝缘层，编制网防护层主要防止低频干扰，金属箔片层为防止高频干扰，最里面是 2 根信号线，红色为信号正接总线连接器的第 8 引脚，绿色为信号负接总线连接器的第 3 引脚。PROFIBUS-DP 电缆的屏蔽层“双端接地”。

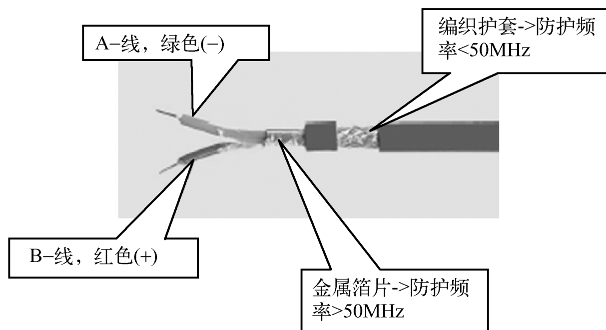


图 4-102　PROFIBUS-DP 电缆钢结构和功能

4.7.2　S7-300 PLC 与 ET200M 之间的 PROFIBUS-DP 通信

用 CPU314C-2DP 作为主站、远程 I/O 模块作为从站，并通过 PROFIBUS 现场总线建立与这些模块（如 ET200S、EM200M 和 EM200B 等）通信是非常方便的，这样的解决方案多用于分布式控制系统。这种 PROFIBUS 通信中，在工程中最容易实现，同时应用也最广泛。

【例 4-11】 有一台设备，控制系统由 CPU 314C-2DP、IM153-2 和 SM323 DI8×DO8 组成，请编写程序实现由主站 CPU 314C-2DP 发出一个启停信号控制从站一个中间继电器的通断；从站发出一个启停信号控制主站一个中间继电器的通断。

【解】

将 314C-2DP 作为主站，将分布式模块 IM153 作为从站。

1. 主要软硬件配置。

① 1 套 STEP7 V5.5 SP2。

② 1 台 CPU 314C-2DP。

③ 1 台 IM153-2。

④ 1 块 SM323 DI8×DO8。

⑤ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）。

⑥ 1 根 PC/MPI 电缆（或者 CP5611 卡）。

PROFIBUS 现场总线硬件配置图如图 4-103 所示，PROFIBUS 现场总线通信 PLC 和远程模块接线图如图 4-104 所示。

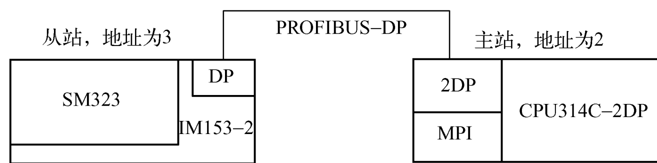


图 4-103　PROFIBUS 现场总线硬件配置图

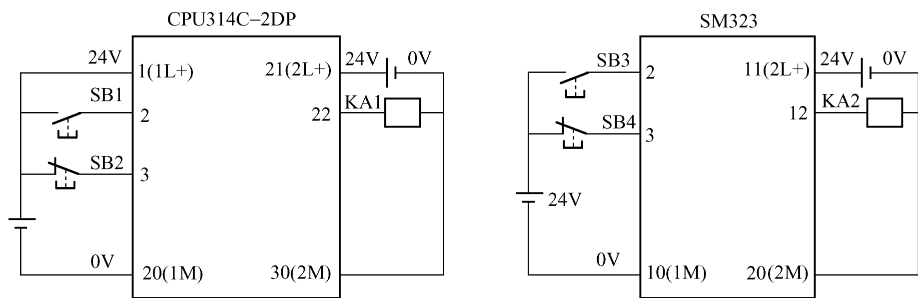


图 4-104　PROFIBUS 现场总线通信－PLC 和远程模块接线图

2. 硬件组态

1）新建工程和插入站点。先打开 STEP7，再新建工程，本例命名为“ET200M”，接着单击菜单“插入”下的“站点”，并单击“SIMATIC 300 Station”，新建工程和插入主站如图 4-105所示。



图 4-105　新建工程和插入站点

2）选中硬件。先单击“ET200M”前的“+”，展开“ET200M”，将“SIMATIC 300”重命名为“Master”，再双击“硬件”，选中硬件如图 4-106 所示。



图 4-106　选中硬件

3）插入导轨。先单击“SIMATIC 300”前的“+”，展开“SIMATIC 300”，再展开“Rack-300”，再双击“Rail”，弹出导轨 UR，如图 4-107 所示。



图 4-107　插入导轨

4）插入 CPU 模块。选中槽位 2，选中后槽位为绿色，展开 CPU-300，再展开 CPU 314

-2DP，再双击“V2.6”，如图 4-108 所示。



图 4-108　插入 CPU 模块

5）新建 PROFIBUS 网络。如图 4-109 所示，“地址”中的选项是主站的地址，本例确定为 2，再展开 CPU 314-2DP，再单击“新建”按钮，弹出如图 4-110 所示界面。单击“确定”按钮，主站的 PROFIBUS 网络设定完成。



图 4-109　新建 PROFIBUS 网络（1）



图 4-110　新建 PROFIBUS 网络（2）

6）修改主站的 I/O 地址。双击槽位“2.2”，弹出“属性”界面，取消“系统默认”前的“✓”，再选定“地址”选项卡，并在“输入”的起始地址中输入 0，“输出”的起始地址也输入 0，最后单击“确定”按钮，修改主站的 I/O 地址如图 4-111 所示。



图 4-111　修改主站的 I/O 地址

7）将从站挂到 PROFIBUS 网络上。选中“1”处的 PROFIBUS 网络，再展开“PROFIBUS DP”下的“ET 200M”，并双击“IM 153-1”，组态从站硬件如图 4-112 所示。

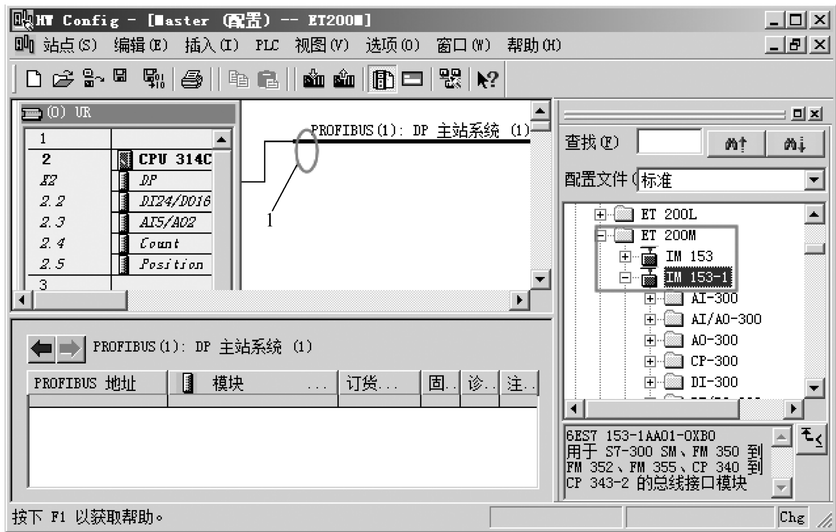


图 4-112　将从站挂到 PROFIBUS 网络上

8）设定从站地址。“地址”中的选项是从站的地址，本例确定为 3，再单击“确定”按钮，设定从站地址如图 4-113 所示。

9）插入输入模块。选中“1”处的 IM153-1，再展开“DI/DO-300”，并双击“SM 323 DI8/ DO8 × DC24V ”，插入模块如图 4-114 所示。

10）编译保存硬件组态。单击工具栏的“编译和保存按钮”，对硬件组态进行编译，编译保存如图 4-115 所示。从图中还可以看到：SM 323 的输入地址为 IB3，输出地址为 QB2。

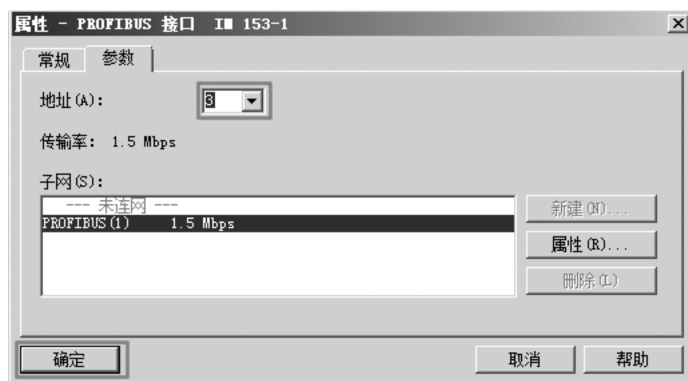


图 4-113 设定从站地址

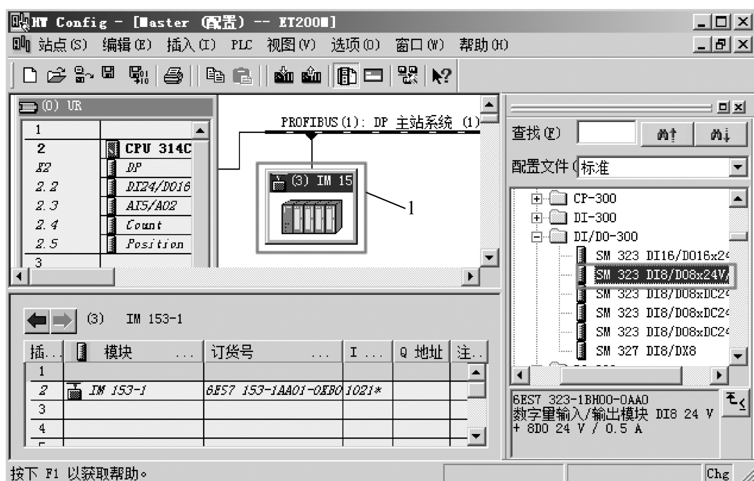


图 4-114 插入模块



图 4-115 编译保存硬件组态

3. 编写程序

只需要对主站编写程序，主站的梯形图程序如图 4-116 所示。

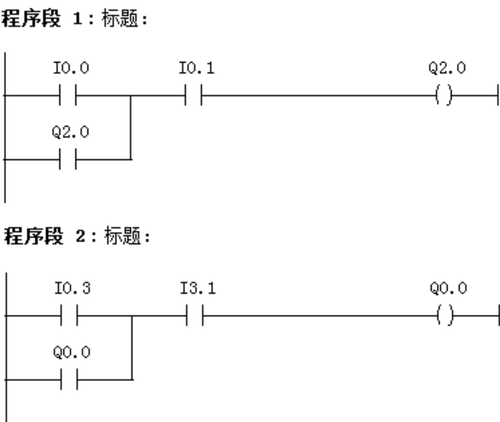


图 4-116　梯形图

4.7.3　S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 通信

为了节约成本，在我国 S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 之间的现场总线通信在工业控制中有不少的应用，如图 4-117 所示为某铜矿的 S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 现场总线通信的硬件组态的实例，由于此实例比较复杂。在此不详细介绍。

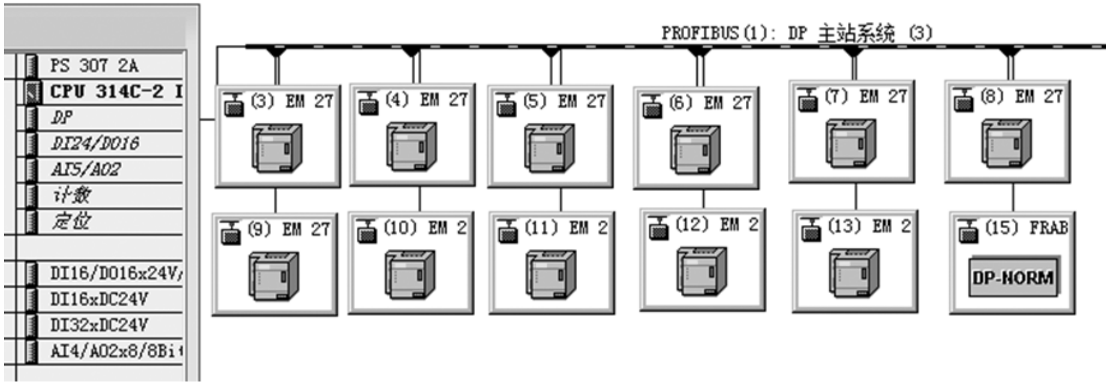


图 4-117　某铜矿的 S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 现场总线通信的硬件组态的实例

下面以一台 CPU 314C-2DP 与一台 CPU 226CN 之间的 PROFIBUS 现场总线通信为例介绍 S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的现场总线通信。

【例 4-12】模块化生产线的主站为 CPU 314C-2DP，从站为 CPU 226CN 和 EM277 的组合，主站发出开始信号（开始信号为高电平），从站接收信息，并使从站的指示灯以 1s 为周期闪烁。同理，从站发出开始信号（开始信号为高电平），主站接收信息，并使主站的指示灯以 1s 为周期闪烁。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP 7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 套 STEP 7 V5.5 SP2。

③ 1 台 CPU 226CN。

④ 1 台 EM277。

⑤ 1 台 CPU 314C-2DP。

⑥ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

⑦ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）。

PROFIBUS 现场总线硬件配置如图 4-118 所示，PROFIBUS 现场总线通信 PLC 接线如图 4-119所示。

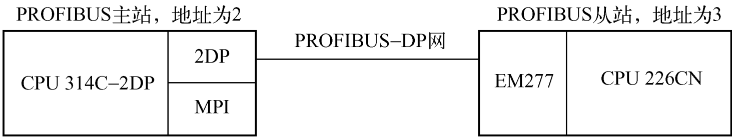


图 4-118　PROFIBUS 现场总线硬件配置图

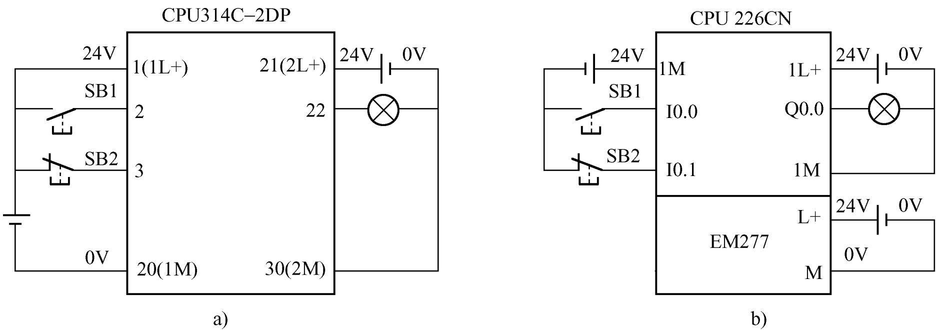


图 4-119　PROFIBUS 现场总线通信 PLC 接线图

a）CPU 314C-2DP PLC 接线图　b）CPU 226CN PLC 接线图

2. CPU 314C-2DP 的硬件组态

S7-300 PLC 与 S7-200 PLC 的 PROFIBUS 通信总的方法是：首先对主站 CPU 314C-2DP 的硬件进行硬件组态，下载硬件，再编写主站程序，下载主站程序；编写从站程序，下载从站程序，最后便可建立主站和从站的通信。具体步骤如下：

1）打开 STEP 7 软件。双击桌面上的快捷键，打开 STEP 7 软件。当然也可以单击“开始”→“所有程序”→“SIMATIC”→“SIMATIC Manager”，打开 STEP 7 软件。

2）新建项目。单击“新建”按钮，弹出“新建 项目”对话框，在“命名（M）”中输入一个名称，本例为“DP_200”，再单击“确定”按钮，如图 4-120 所示。

3）插入站点。单击菜单栏“插入”菜单，再单击“站点”和“SIMATIC 300 站点”子菜单，如图 4-121 所示，这个步骤的目的主要是为了插入主站。将主站“SIMATIC 300（1）”重命名为“Master”，双击“硬件”，打开硬件组态界面，如图 4-122 所示。

4）插入导轨。展开项目中的“SIMATIC 300”下的“RACK-300”，双击导轨“Rail”，如图 4-123 所示。硬件配置的第一步都是加入导轨，否则下面的步骤不能进行。

5）插入 CPU。展开项目中的“SIMATIC 300”下的“CPU-300”，再展开“CPU 314C

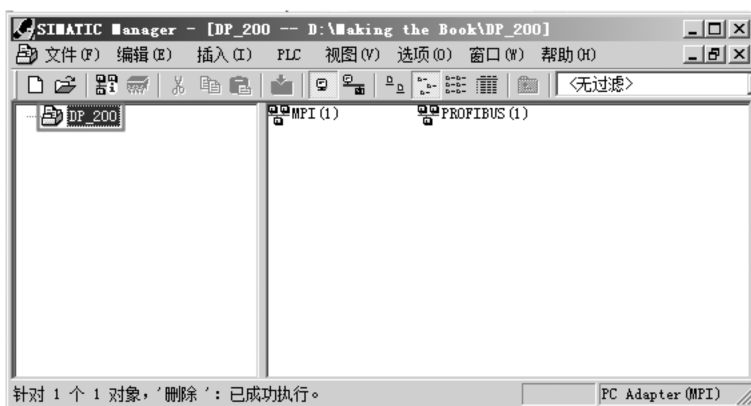


图 4-120　新建项目（2）



图 4-121　插入站点

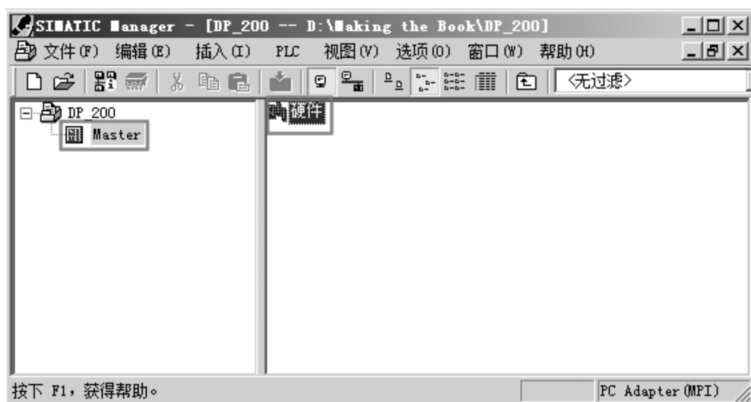


图 4-122　打开硬件组态

-2DP”下的“6ES7 314-6CG06-0AB0”，将“V2.6”拖入导轨的 2 号槽中，如图 4-124 所示。若选用了西门子的电源，在配置硬件时，应该将电源加入到第一槽，本例中使用的是开关电源，因此硬件配置时不需要加入电源，但第一槽必须空缺，建议读者最好选用西门子电源。



图 4-123 插入导轨

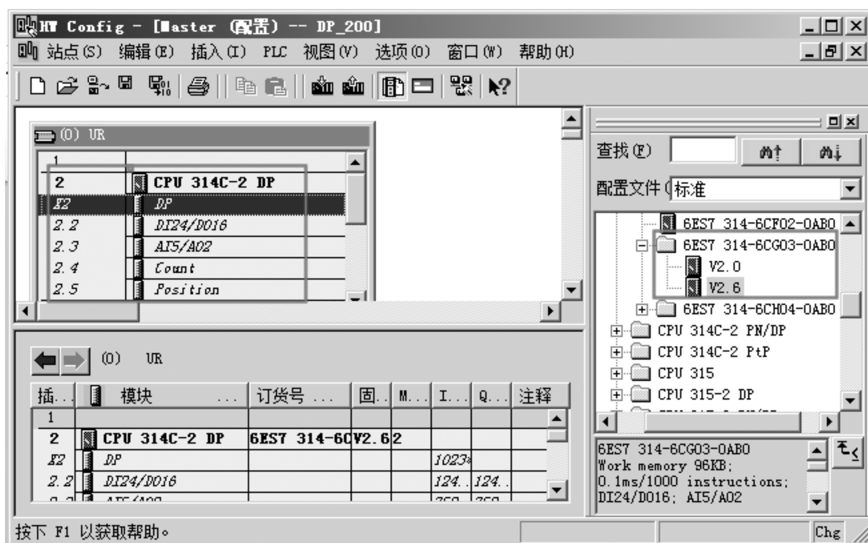


图 4-124 插入 CPU

6）配置网络。双击 2 号槽中的“DP”，弹出“属性 – DP”对话框，单击“属性”按钮，再弹出“属性 – PROFIBUS 接口”对话框，如图 4-125 所示；单击“新建”按钮，再弹出“属性 – 新建子网 PROFIBUS”对话框，如图 4-126 所示；选定传输率为“1.5Mbps”和配置文件为“DP”，单击“确定”按钮，如图 4-127 所示。从站便可以挂在 PROFIBUS 总线上。

7）修改 I/O 起始地址。双击 2 号槽中的“DI24/DO16”，弹出“属性 – DI24/DO16”对话框，如图 4-128 所示；去掉“系统默认”前的“√”，在“输入”和“输出”的“开始”中输入“0”，单击“确定”按钮，如图 4-129 所示。这个步骤目的主要是为了使程序中输入和输出的起始地址都从“0”开始，这样更加符合习惯，若没有这个步骤，也是可行的，但程序中输入和输出的起始地址都从“124”开始，不方便。



图 4-125　新建网络

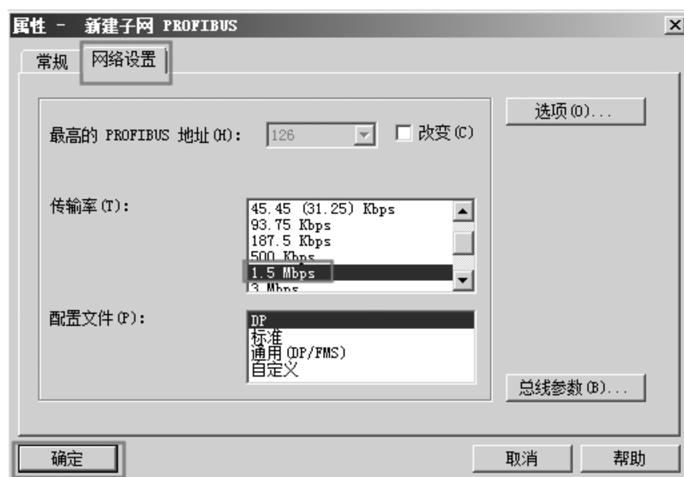


图 4-126　设置通信参数

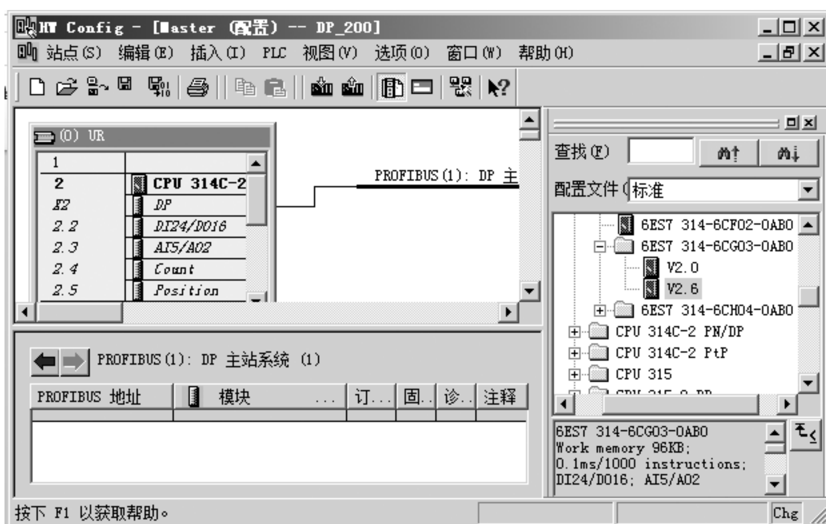


图 4-127　配置网络



图 4-128　修改 I/O 起始地址（1）



图 4-129　修改 I/O 起始地址（2）

8）配置从站地址。先选中“PROFIBUS”，再展开项目，先后展开“PROFIBUS-DP”→“Additional Field Device”→“PLC”→“SIMATIC”，再双击“EM277 PROFIBUS-DP”，弹出“属性-PROFIBUS 接口”对话框，将地址改为“3”，最后单击“确定”按钮，如图 4-130所示。

9）分配从站通信数据存储区。先选中 3 号站，展开项目“EM277 PROFIBUS-DP”，再双击“2 Byte In/2 Byte Out”，如图 4-131 所示。当然也可以选其他的选项，这个选项的含义是：每次主站接收信息为 2 个字节，发送的信息也为 2 个字节。

10）设置周期存储器。双击“CPU 214C-2DP”，打开属性界面，选中“周期/时钟存储器”选项卡，勾选“时钟存储器”，输入“100”，单击“确定”按钮即可，如图 4-132 所示。

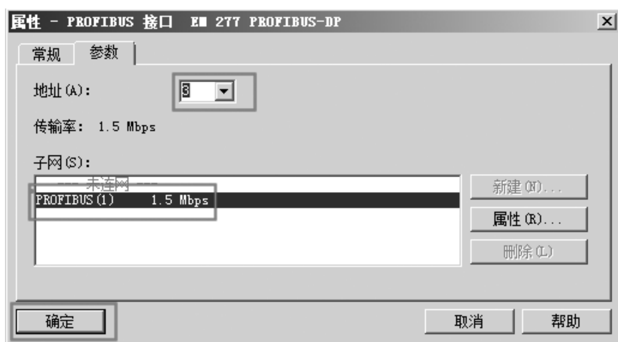


图 4-130 配置从站地址



图 4-131 分配从站通信数据存储区

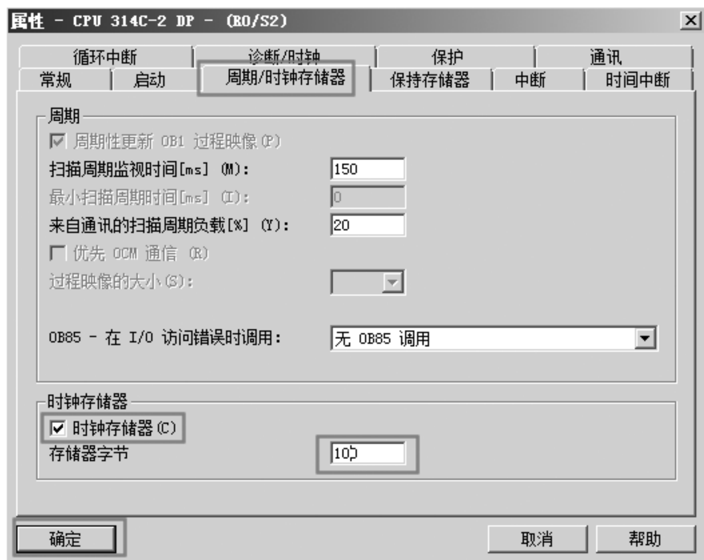


图 4-132 设置周期存储器

11）下载硬件组态。到目前为止，已经完成了硬件的组态，单击“保存和编译”按钮 ，若有错误，则会显示；没有错误，系统将自动保存硬件组态；接着单击“下载”按钮 ，系统将硬件配置下载到 PLC 中。下载硬件的步骤是不可缺少的，否则前面所做的硬件配置的工作都是徒劳的，但保存和编译步骤可以省略，因为单击下载按钮也可以起到这个作用。

12）打开块并编译程序。激活“SIMATIC Manager-profibus”界面，展开工程“DP_200”，选中“块”，如图 4-133 所示。单击“OB1”，弹出“属性－组织块”对话框，再单击“确定”按钮。之后弹出的“LAD/STL/FBD”界面实际上是程序编辑界面，在此界面上输入如图 4-134 所示的程序。

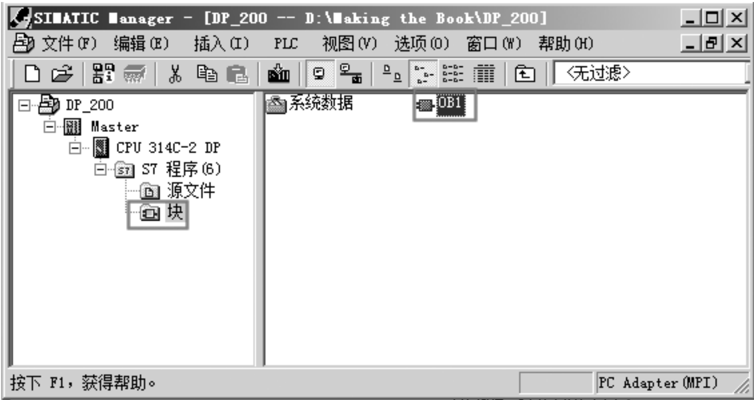
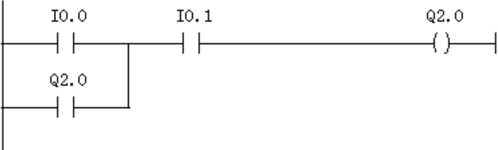


图 4-133　打开 OB1（1）



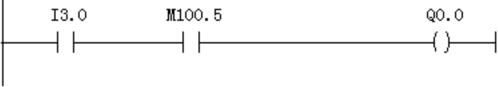


图 4-134　CPU 314C－2DP 的程序

3. 编写程序

（1）编写主站的程序

按照以上步骤进行硬件组态后，主站和从站的通信数据发送区和接收数据区就可以进行数据通信了，主站和从站的发送区和接收数据区对应关系见表 4-26。

表 4-26　主站和从站的发送区和接收数据区对应关系

序　　号	主站 S7-300	对应关系	从站 S7-200
1	QW2	→	VW0
2	IW3	←	VW2

主站将信息存入 QW2 中，发送到从站的 VW0 数据存储区，那么主站的发送数据区为什么是 QW2 呢？因为 CPU 314C-2DP 自身是 16 点数字输出占用了 QW0，因此不可能是 QW0，QW2 是在前面的序（9）中设定的。当然也可以设定为其他的单元，但不可以设定为 QW0。从站的接收区默认为 VW0，从站的发送区默认为 VW2，这个单元是可以在硬件组态时更改的，请读者参考西门子的相关手册。从站的信息可以通过 VW2 送到主站的 IW3。注意，务必要将组态后的硬件和编译后软件全部下载到 PLC 中。

（2）编写从站程序

在桌面上双击快捷键，打开软件 V4.0 STEP 7 STEP 7 Micro/WinSP9，在梯形图中输入如图 4-135 所示的程序；再将程序下载到从站 PLC 中。

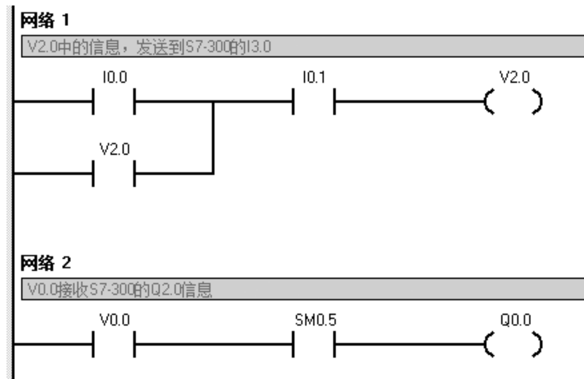


图 4-135　CPU 226CN 的程序

4. 硬件连接

主站 CPU 314C－2DP 有两个 DB9 接口，一个是 MPI 接口，它主要用于下载程序（也可作为 MPI 通信使用），另一个 DB9 接口是 DP 口，PROFIBUS 通信使用这个接口。从站为 CPU 226CN + EM277，EM277 是 PROFIBUS 专用模块，这个模块上的 DB9 接口为 DP 口。主站的 DP 口和从站的 DP 口通过专用的 PROFIBUS 电缆和专用网络接头相连，主站和从站的硬件连线如图 4-118 所示。

PROFIBUS 电缆是 2 线屏蔽双绞线，两根线为 A 线和 B 线，电线塑料皮上印刷有 A、B 字母，A 线与网络接头上的 A 端子相连，B 线与网络接头上的 B 端子相连即可。B 线实际与 DB9 的第 3 针相连，A 线实际与 DB9 的第 8 针相连。

【关键点】在前述的硬件组态中已经设定从站为第三站，因此在通信前，必须要将 EM277 的“站号”选择旋钮旋转到“3”的位置，否则，通信不能成功。此外，完成设定 EM277 的站地址后，必须将 EM277 断电，新设定的站地址才能生效。从站网络连接器的终端电阻应置于“on”，如图 4-136 所示。若要置于“off”，只要将拨钮拨向“off”一侧即可。

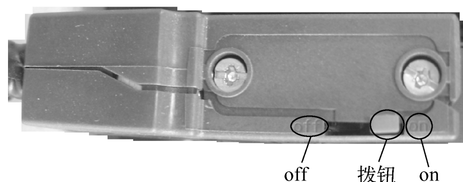


图 4-136　网络连接器的终端电阻置于“on”

5. 软硬件调试

用 PROFIBUS 的电缆将 S7-300 的 DP 口与 EM277 的 DP 口相连，将 S7-300 端的网络连接器上的拨钮拨到“on”，并将 EM277 端的网络连接器上的拨钮拨到“on”上，再将程序下载到 PLC 中，最后将 PLC 的运行状态从“STOP”都拨到“RUN”上。

4.7.4　S7-300 PLC 之间的 PROFIBUS-DP 通信

S7-300 PLC 之间的现场总线通信和 S7-300 与 S7-200 间的现场总线通信有所不同，有的 S7-300 CPU 自带有 DP 通信口（如 CPU 314C-2DP），进行 PROFIBUS 通信时，只需要将两台 S7-300 CPU 的 DP 通信口用 PROFIBUS 通信电缆连接即可；而有的 S7-300 CPU 没有自带的 DP 通信口（如 CPU 314C），要进行 PROFIBUS 通信时，还必须配置 DP 接口模块（CP342-5）。以下以两台 CPU 314C-2DP 之间 PROFIBUS 通信为例，介绍 S7-300 PLC 之间的 PROFIBUS 现场总线通信。

【例 4-13】有两台设备，分别由一台 CPU 314C-2DP 控制，要求实时从设备 1 上的 CPU314C-2DP 的 MB10 发出 1 个字节到设备 2 的 CPU314C-2DP 的 MB10，从设备 2 上的 CPU314C-2DP 的 MB20 发出 1 个字节到设备 1 的 CPU314C-2DP 的 MB20。

【解】

1. 主要软硬件配置

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP2。

② 2 台 CPU 314C-2DP。

③ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

④ 1 根 PROFIBUS 网络电缆（含两个网络总线连接器）。

PROFIBUS 现场总线硬件配置图如图 4-137 所示。

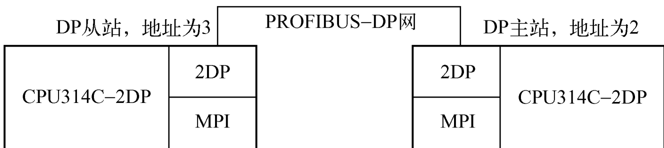


图 4-137　PROFIBUS 现场总线硬件配置图

2. 硬件组态

1）新建工程并插入站点。首先新建一个工程，本例为“profibus-s7300”，如图 4-138 所示。再在工程中插入两个站点，本例为“Client”和“Server”，共插入 2 个站点，并将站点重命名为“Client”和“Server”，如图 4-139 所示。



图 4-138　新建工程并插入站点

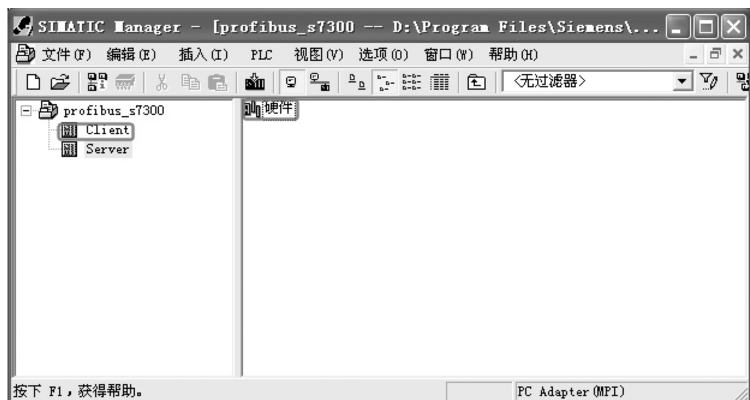


图 4-139　插入站点并重命名

2）插入导轨。如图 4-139 所示，选中从站“Client”，双击“硬件”，弹出如图 4-140 所示的界面，双击导轨“Rail”，弹出“1”处的导轨。

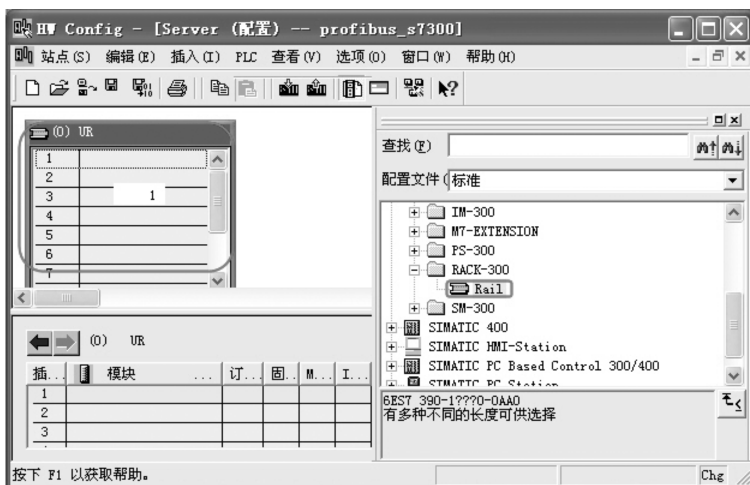


图 4-140　插入导轨

3）插入 CPU 模块。如图 4-141 所示，先选中导轨的 2 号槽位，再展开 CPU 314C-2DP，双击“V2.6”，也可直接用鼠标的左键选中“V2.6”并按住左键不放，直接将 CPU 拖入 2 号槽。

【关键点】 CPU 314C-2DP 有 4 个产品型号，读者在组态时，一定要注意 CPU 314C-2DP 机壳上印刷的产品型号要与组态选择的产品型号一致。另外，“314-6CG03-0AB0”还有两个版本，在组态时也要注意与机壳上印刷的一致，否则会出错。

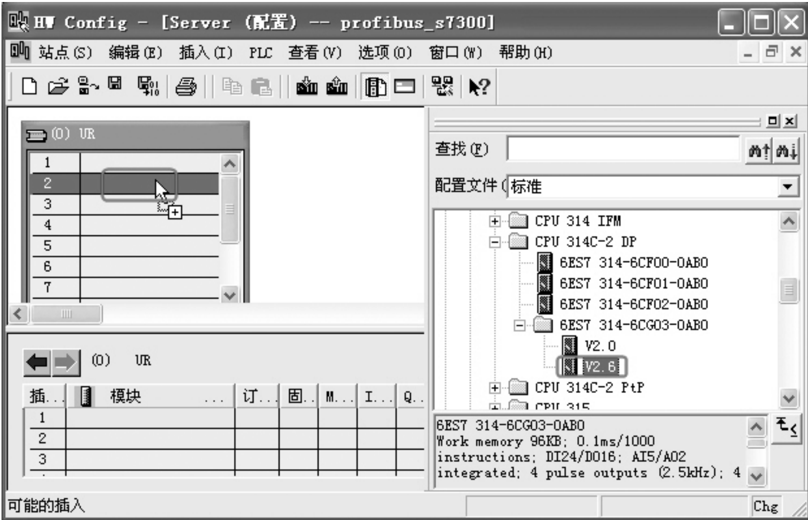


图 4-141　插入 CPU 模块

4）新建 PROFIBUS 网络。如图 4-142 所示，先选定从站的站地址为“3”，再单击“新建”按钮，弹出如图 4-143 所示的界面。

5）选择通信的波特率。如图 4-143 所示，先选定 PROFIBUS 通信的波特率为“1.5Mbps”，再单击“确定”按钮，弹出如图 4-144 所示的界面。



图 4-142　新建 PROFIBUS 网络



图 4-143　选择通信的波特率

6）选择操作模式。如图 4-144 所示，先双击“1”处的 DP，再选择操作模式为“DP 从站”模式选项，再选定“组态”选项卡，弹出如图 4-145 所示的界面。

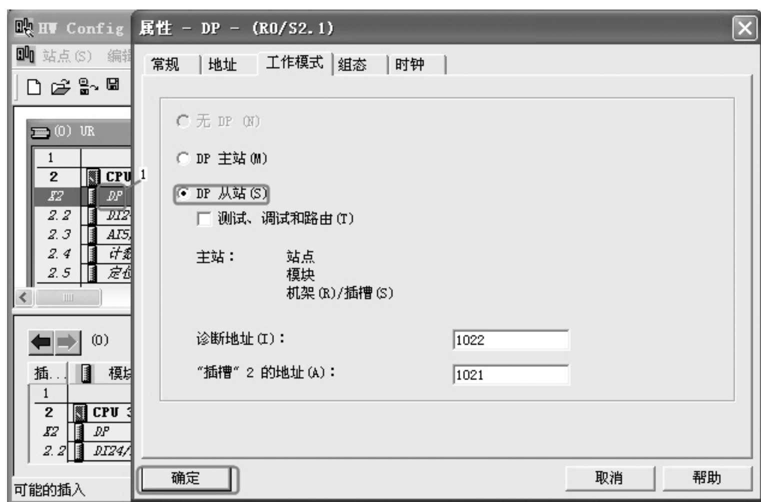


图 4-144 工作模式选择

7）组态接收区和接收区的数据。如图 4-145 所示，先单击“新建”按钮，弹出如图 4-146所示的界面，定义从站 3 的接收区的地址为“3”（实际就是 QB3），再单击“确定”按钮，接收区数据定义完成。再单击图 4-145 中的“新建”按钮，弹出如图 4-147 所示的界面，定义从站 3 的发送区的地址为“3”（实际就是 IB3），再单击“确定”按钮，发送区数据定义完成。弹出如图 4-148 所示的界面，单击“确定”按钮，从站的发送接收区数据组态完成。



图 4-145 组态通信接口数据区

图 4-146　组态接收区数据

图 4-147　组态发送区数据

8）主站组态时插入导轨和插入 CPU 与从站组态类似，不再重复，以下从选择通信波特率开始讲解，如图 4-149 所示，先选定主站 2 的通信地址为“2”，再选定通信的波特率为“1.5Mbps”，单击”确定”按钮，弹出如图 4-150 所示的界面。



图 4-148　从站数据区组态完成

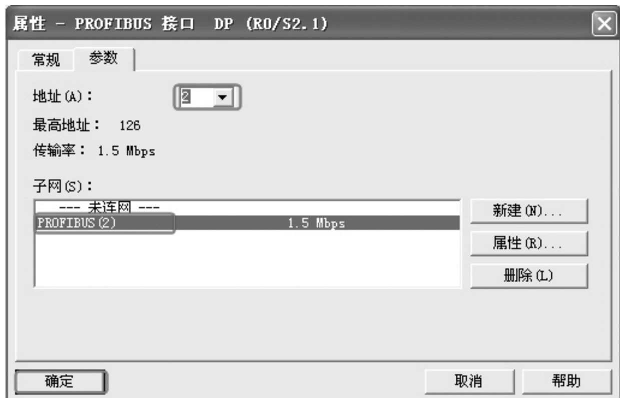


图 4-149　选择通信波特率

9）将从站 3 挂到 PROFIBUS 网络上。如图 4-150 所示，先用鼠标选中 PROFIBUS 网络的“1”处，再双击“CPU 31x”，弹出如图 4-151 所示的界面。



图 4-150　将从站 3 挂到 PROFIBUS 网络上

10）激活从站 3。如图 4-151 所示，单击“连接”按钮，弹出如图 4-152 所示的界面。



图 4-151　激活从站 3



图 4-152　组态主站通信接口数据区

11）组态主站通信接口数据区。如图 4-152 所示，选中“组态”选项卡，再双击“1”处，弹出如图 4-153 所示的界面。先选择地址类型为发送数据，再选定地址为“3”（实际就是 QB3），单击“确定”按钮，发送数据区组态完成。接收数据区的组态方法类似，只需要将如图 4-154 中的地址类型选择为接收数据，再选定地址为“3”（实际就是 IB3），单击“确定”按钮即可。

12）硬件组态完成。在图 4-155 中，单击”确定”按钮，弹出如图 4-156 所示的界面。至此，主站的组态已经完成。

图 4–153　组态发送数据区

图 4–154　组态接收数据区

图 4–155　硬件组态完成（1）



图 4-156　硬件组态完成（2）

13）单击按钮，保存和编译硬件组态。硬件组态完毕。

【关键点】在进行硬件组态时，主站和从站的波特率要相等，主站和从站的地址不能相同，本例的主站地址为 2，从站的地址为 3。最为关键的是：先对从站组态，再对主站进行组态。

3. 编写主站程序

S7-300 PLC 之间的现场总线通信的程序编写有很多种方法，本例是最为简单的一种方法。从图 4-148 中很容易看出主站 2 和从站 3 数据交换的对应关系，也可参见表 4-27。

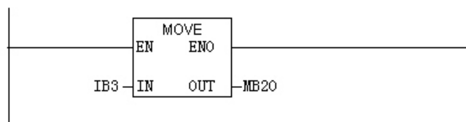
表 4-27　主站和从站的发送接收数据区对应关系

序　　号	主站 S7-300	对应关系	从站 S7-300
1	QB3	⟶	IB3
2	IB3	⟵	QB3

主站的程序如图 4-157 所示。

程序段 1：标题：

主站接收从站QB3 的信息到IB3,之后传送到MB20



程序段 2：标题：

主站的MB10传送给QB3,QB3发送到从站的IB3

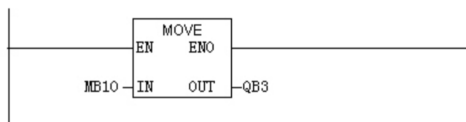


图 4-157　主站程序

4. 编写从站程序

从站程序如图 4-158 所示。

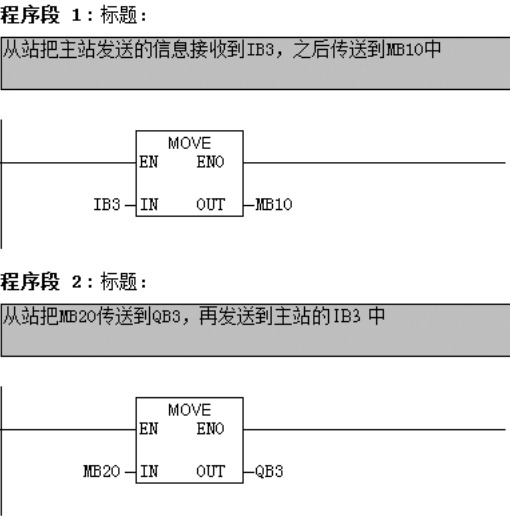


图 4-158　从站程序

4.8　以太网通信

以太网（Ethernet），指的是由 Xerox 公司创建，并由 Xerox、Intel 和 DEC 公司联合开发的基带局域网规范。以太网使用 CSMA/CD（载波监听多路访问及冲突检测技术）技术，并以 10Mbit/s 的速率运行在多种类型的电缆上。以太网与 IEEE802·3 系列标准相类似。以太网不是一种具体的网络，而是一种技术规范。

4.8.1　以太网通信简介

1. 以太网的历史

以太网的核心思想是：使用公共传输信道。这个思想产生于 1968 年美国的夏威尔大学。

以太网技术的最初进展源自于施乐帕洛阿尔托研究中心的许多先锋技术项目中的一个。人们通常认为以太网发明于 1973 年，以当年罗伯特·梅特卡夫（Robert Metcalfe）给他 PARC 的老板写了一篇有关以太网潜力的备忘录为标志。

1979 年，梅特卡夫成立了 3Com 公司。3Com 联合迪吉多、英特尔和施乐（DEC、Intel 和 Xerox）共同将网络进行标准化、规范化。这个通用的以太网标准于 1980 年 9 月 30 日出台。

2. 以太网的分类

以太网分为标准以太网、快速以太网、千兆以太网和万兆以太网。

3. 以太网的连接

（1）拓扑结构

1）星形。如图 4-159a 所示，管理方便、容易扩展、需要专用的网络设备作为网络的核心节点、需要更多的网线和对核心设备的可靠性要求高。采用专用的网络设备（如集线器或交换机）作为核心节点，通过双绞线将局域网中的各台主机连接到核心节点上，这就

形成了星形结构。星形网络虽然需要的线缆比总线型多，但布线和连接器比总线型的要便宜。此外，星形拓扑可以通过级联的方式很方便地将网络扩展到很大的规模，因此得到了广泛的应用，被绝大部分的以太网所采用。

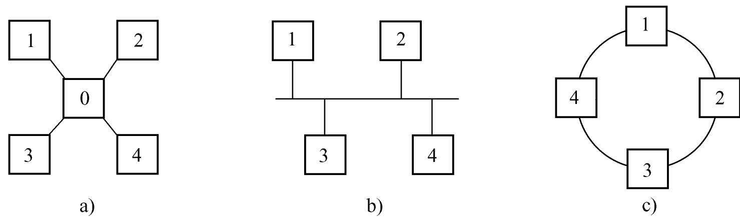


图 4-159　拓扑图

a）星形结构　b）总线型结构　c）环形结构

2）总线型。如图 4-159b 所示，所需的电缆较少、价格便宜、管理成本高、不易隔离故障点以及采用共享的访问机制，易造成网络拥塞。早期以太网多使用总线型的拓扑结构，采用同轴缆作为传输介质，连接简单，通常在小规模的网络中不需要专用的网络设备，但由于它存在的固有缺陷，已经逐渐被以集线器和交换机为核心的星形网络所代替。

3）环形。如图 4-159c 所示，西门子的网络中，用 OLM（Optical Link Module）模块将网络首位相连，形成环网。与总线型相比冗余环网增加了交换数据的可靠性。

此外，还有网状和蜂窝状等拓扑结构。

（2）接口的工作模式

以太网卡可以工作在两种模式下：半双工和全双工。

（3）传输介质

以太网可以采用多种连接介质，包括同轴缆、双绞线和光纤等。其中双绞线多用于从主机到集线器或交换机的连接，而光纤则主要用于交换机间的级联和交换机到路由器间的点到点链路上。同轴缆作为早期的主要连接介质已经逐渐趋于淘汰。

总之，以太网是目前世界上最为流行的拓扑标准之一，具有传播速度高、网络资源丰富、系统功能强大、安装简单和使用维修方便等优点。

4. 工业以太网通信

（1）初识工业以太网

所谓工业以太网，通俗地讲就是应用于工业的以太网，是指其在技术上与商用以太网（IEEE802.3 标准）兼容，但材质的选用、产品的强度和适用性方面应能满足工业现场的需要。工业以太网技术的优点表现在：以太网技术应用广泛，为所有的编程语言所支持；软硬件资源丰富；易于与 Internet 连接，实现办公自动化网络与工业控制网络的无缝连接；通信速度快；可持续发展的空间大等。

虽然以太网有众多的优点，但作为信息技术基础的 Ethernet 是为 IT 领域应用而开发的，在工业自动化领域只得到有限应用，这是由于以下原因：

1）Ethernet 采用 CSMA/CD 碰撞检测方式，在网络负荷较重时，网络的确定性（Determinism）不能满足工业控制的实时要求。

2）Ethernet 所用的接插件、集线器、交换机和电缆等是为办公室应用而设计，不符合工业现场恶劣环境要求。

3）在工程环境中，Ethernet 抗干扰（EMI）性能较差。若用于危险场合，以太网不具备本质安全性能。

4）Ethernet 还不具备通过信号线向现场仪表供电的性能。

随着信息网络技术的发展，上述问题正在迅速得到解决。为促进 Ethernet 在工业领域的应用，国际上成立了工业以太网协会（Industrial Ethernet Association，IEA）。

（2）网络电缆接法

用于 Ethernet 的双绞线有 8 芯和 4 芯两种，双绞线的电缆连线方式也有两种，即正线（标准 568B）和反线（标准 568A），其中正线也称为直通线，反线也称为交叉线。正线接线如图 4-160 所示，两端线序一样，从上至下线序是：白绿、绿、白橙、蓝、白蓝、橙、白棕、棕。反线接线如图 4-161 所示，一端为正线的线序，另一端为从上至下线序是：白橙、橙、白绿、蓝、白蓝、绿、白棕、棕。对于千兆以太网，用 8 芯双绞线，但接法不同于以上所述的接法，请参考有关文献。

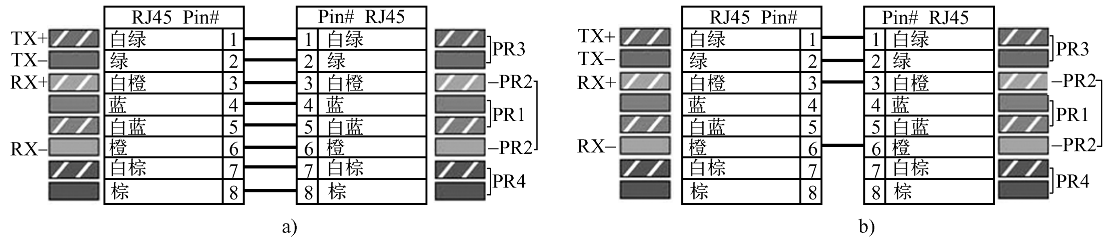


图 4-160　双绞线正线接线图

a）8 芯线　b）4 芯线

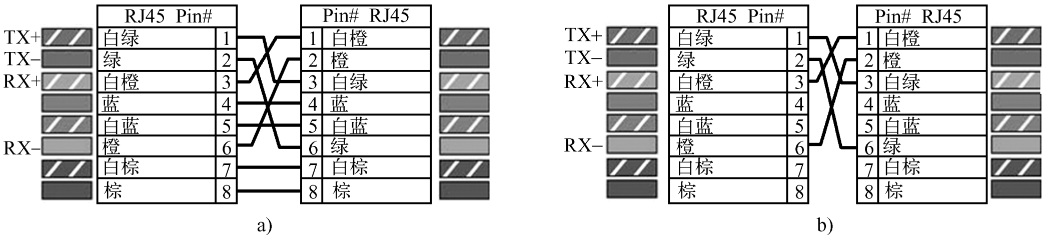


图 4-161　双绞线反线接线图

a）8 芯线　b）4 芯线

对于 4 芯的双绞线，只用连接头上的（常称为水晶接头）1、2、3 和 6 四个引脚。西门子的 PROFINET 工业以太网采用 4 芯的双绞线。

常见的采用正线连接的有计算机（PC）与集线器（HUB）、计算机（PC）与交换机（SWITCH）、PLC 与交换机（SWITCH）、PLC 与集线器（HUB）。

常见的采用反线连接的有计算机（PC）与计算机（PC）、PLC 与 PLC。

4.8.2　S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的以太网通信

S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的以太网通信中，S7-300 PLC 可以作为服务器端或者客户端，S7-200 PLC 也可以作为服务器端或者客户端，但 S7-300 PLC 配置有以太网模块（如 CP343-1 Lean），S7-300 PLC 只能作为服务器端。下面以 S7-300 PLC 作为服务器端、

S7-200 PLC 作为客户端为例，介绍 S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的以太网通信。

【例 4-14】 当 S7-300 PLC 服务器端发出一个起停信号时，客户端 S7-200 PLC 收到信号，并对一台电动机进行起停控制。

1. 本例软硬件配置

S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的以太网通信硬件配置如图 4-162 所示。

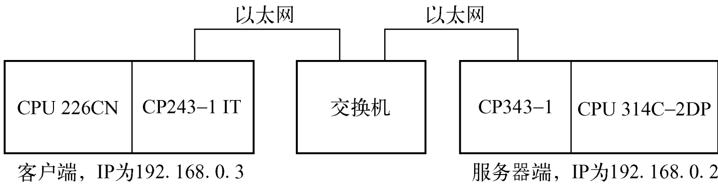


图 4-162　S7-200 PLC 与 S7-300 PLC 之间的以太网通信硬件配置图

① 1 台 CPU226 CN。

② 1 台 CP243-1 IT 以太网模块。

③ 1 台 CPU 314C-2DP。

④ 1 台 CP343-1 Lean 以太网模块。

⑤ 1 台 8 口交换机。

⑥ 2 根带水晶接头的 8 芯双绞线（正线或者反线）。

⑦ 1 套 STEP 7 - MICRO/WIN SP9 和 1 套 STEP 7 5.5 SP2。

⑧ 1 根 PC/PPI 电缆（USB 口）。

⑨ 个人计算机（含网卡）。

【关键点】 CP343-1 Lean 只能作为服务器端，不能作为客户端，但 CP343-1 IT 模块既可以作为服务器端，又可以作为客户端。

2. 配置客户端

（1）打开“以太网向导”

单击“工具”下的子菜单“以太网向导”，弹出“以太网向导”，如图 4-163 和图 4-164 所示，单击“下一步”按钮。



图 4-163　打开以太网向导

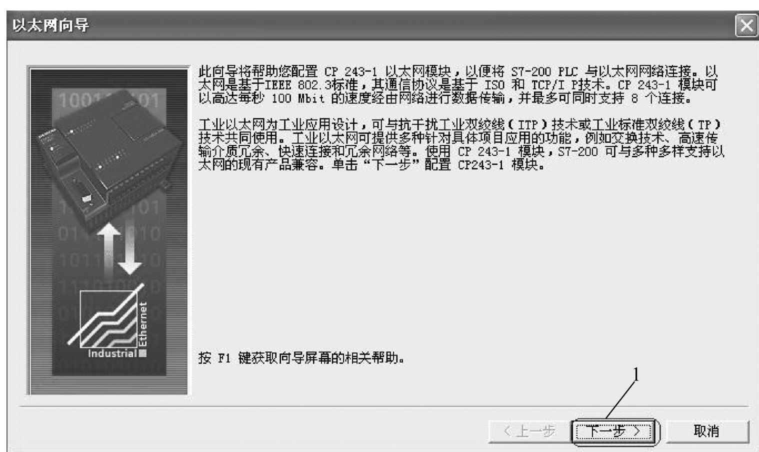


图 4-164　以太网向导初始界面

（2）指定模块位置

在模块位置中输入位置号，本例为“0”，再单击“读取模块”按钮，若读取成功，则模块的信息显示在如图 4-165 所示的序号“3”处。

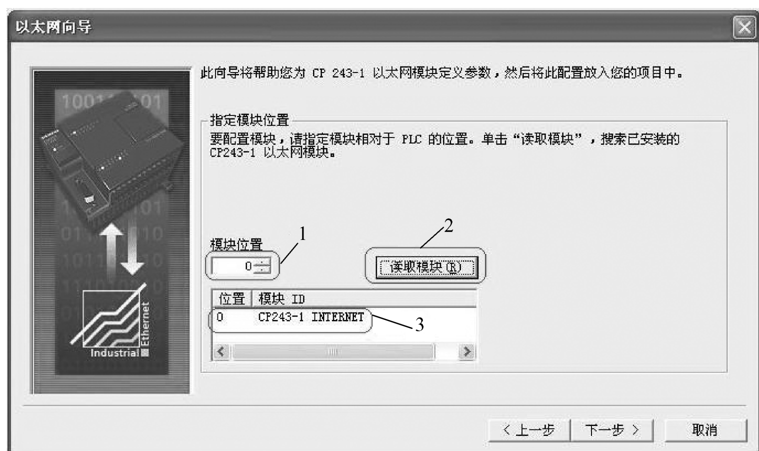


图 4-165　指定模块位置

（3）指定模块地址

在 IP 地址中输入“192. 168. 0. 3”，在“子网掩码”中输入“255. 255. 255. 0”，网关可以空置，在“为此模块指定通信连接类型”中选择“自动检测通信”选项，最后单击“下一步”按钮，如图 4-166 所示。IP 地址的末位可以是≤255、但除 2 外的所有整数。

（4）指定命令字节和连接数目

因为只有两个模块，所以“为此模块配置的连接数”选定为“1”，再单击“下一步”按钮，如图 4-167 所示。

（5）配置连接

将“远程对象”设置为“03. 02”（若为 S7-200 则设定为 10. 00），再将“为此连接服务器端的 IP 地址”设定为“192. 168. 0. 2”。单击“确定”按钮，如图 4-168 所示。

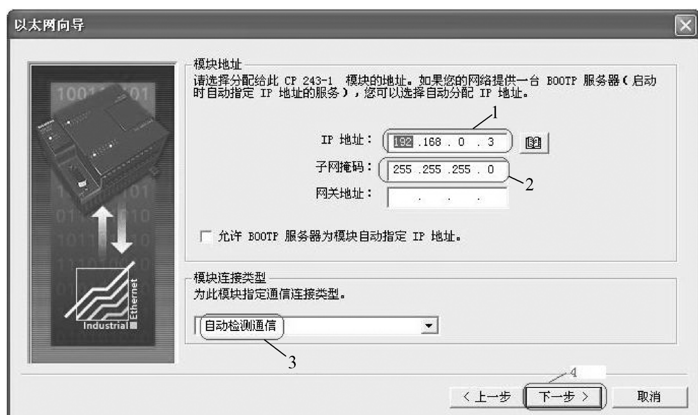


图 4-166　指定模块地址

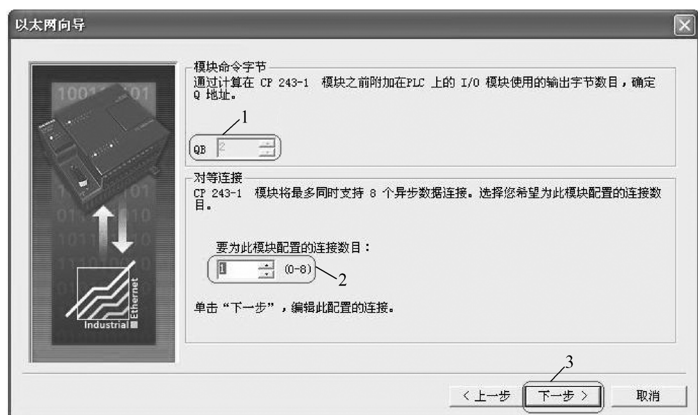


图 4-167　指定命令字节和连接数目

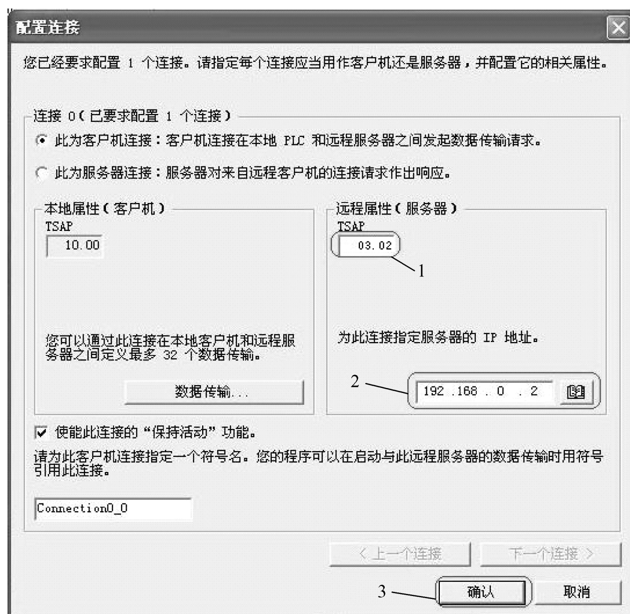


图 4-168　配置连接（1）

单击“新传输”按钮，再单击“确定”按钮，如图 4-169 所示。

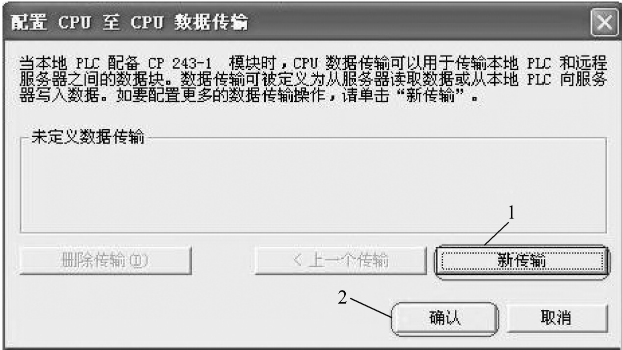


图 4-169　配置连接（2）

如图 4-170 所示，在序号“1”处选定“从远程服务器端读取数据”；序号“2”处选定为“1”，因为一个字节可以包含 8 个开关量信息，而本例只有一个开关量；序号“3”和序号“4”处的含义是：将服务器端的 MB0 中的数据传送到客户端的 VB0 中去；再单击“确定”按钮。

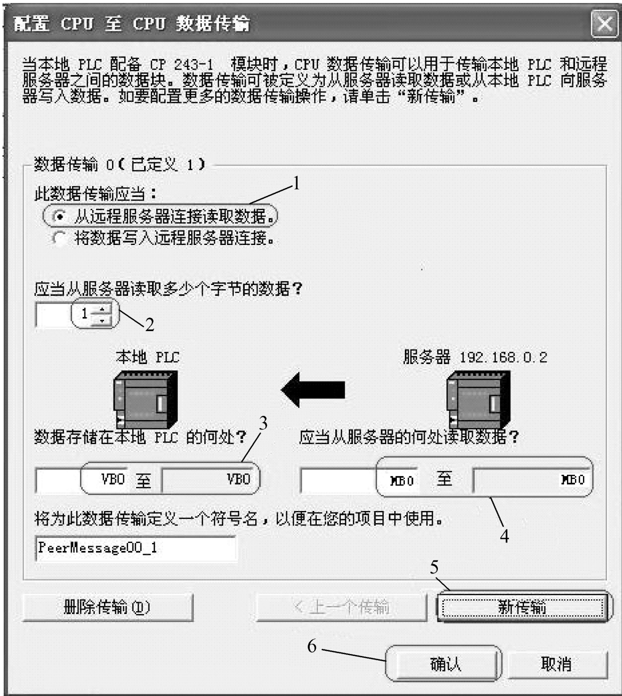


图 4-170　配置连接（3）

（6）CRC 保护与保持现用间隔

如图 4-171 所示，先选定“是，为数据块中的此配置生成 CRC 保护”，再单击“下一步”按钮。

（7）分配配置内存

如图 4-172 所示，先单击“建议地址”，再单击“下一步”按钮。

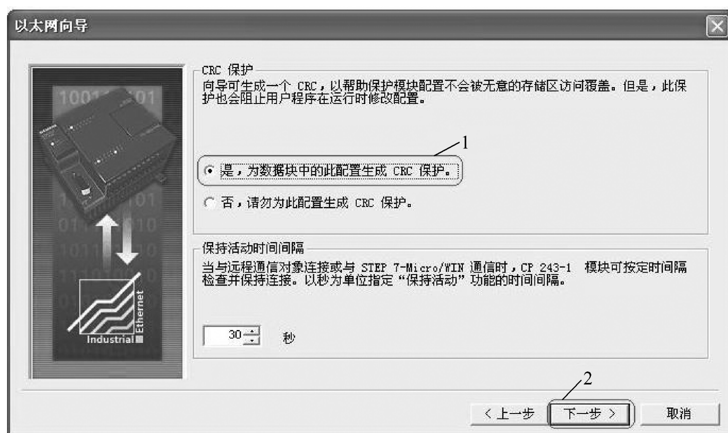


图 4-171 CRC 保护与保持现用间隔

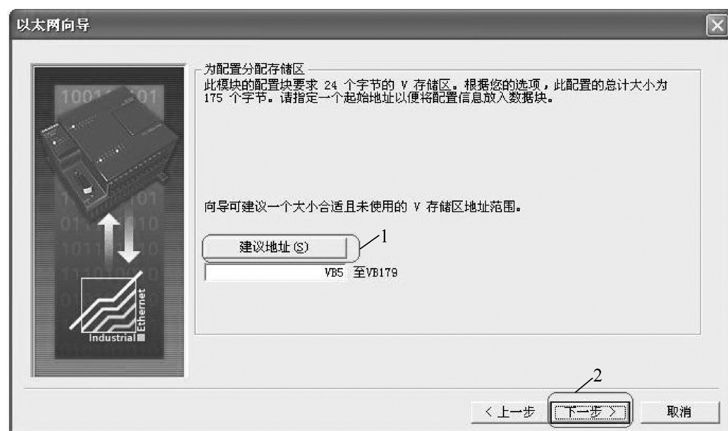


图 4-172 分配配置内存

（8）生成项目部件

如图 4-173 所示，单击“完成”按钮，完成客户端的配置。

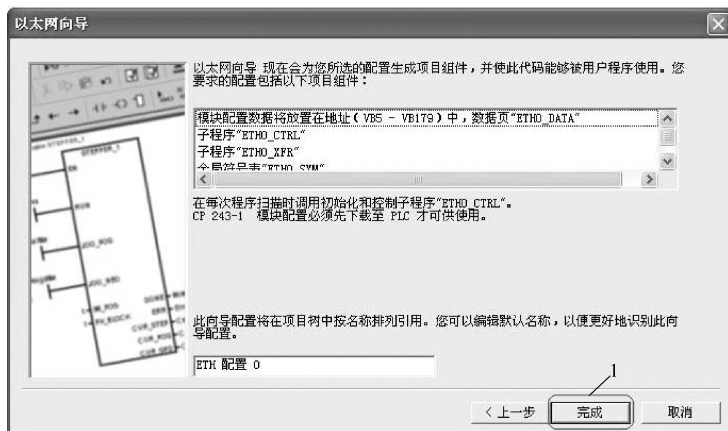


图 4-173 生成项目部件

3. 配置服务器端

（1）新建工程

新建工程如图4–174所示，选中导轨槽位4，再双击“CP343–1Lean”模块的“V2.0”版本，弹出IP地址设置，如图4–175所示。

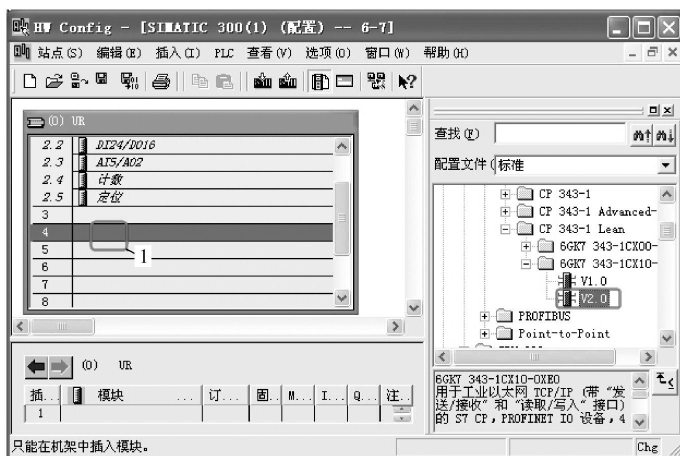


图4–174　新建工程

（2）IP地址设置

如图4–175所示，在“IP地址”中填写服务器端地址“192.168.0.2”，在“子网掩码”中填写服务器端地址“255.255.255.0”，再单击“新建”按钮，弹出组件以太网界面，如图4–176所示。



图4–175　IP地址设置

（3）组建以太网

如图4–176所示，单击“确定”按钮，弹出如图4–177所示界面，选中“Ethernet(1)”，单击“确定”按钮，以太网组建完成。

4. 编写程序

客户端程序如图4–178所示，服务器端程序如图4–179所示。



图 4-176　组建以太网（1）



图 4-177　组建以太网（2）

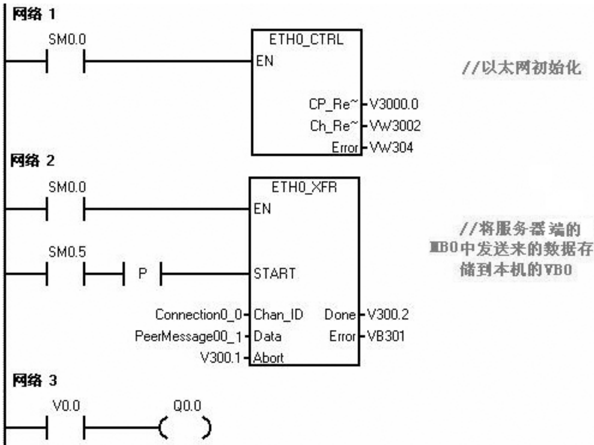


图 4-178　客户端程序

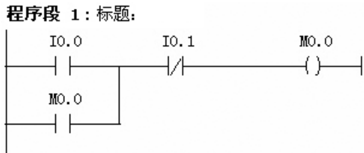


图 4-179　服务器端程序

4.8.3 S7-300 PLC之间的以太网通信

1. 西门子工业以太网通信方式简介

工业以太网的通信主要利用第2层(ISO)和第4层(TCP)的协议。以下是西门子以太网的几种通信方式。

（1）ISOTransport（ISO传输协议）

ISO传输协议支持基于ISO的发送和接收，使得设备（例如SIMATIC S5或PC）在工业以太网上的通信非常容易，该服务支持大数据量的数据传输（最大8 KB)。ISO数据接收由通信方确认，通过功能块可以看到确认信息。用于SIMATIC S5和SIMATIC S7的工业以太网连接。

（2）ISO-on-TCP

ISO-on-TCP支持第4层TCP/IP协议的开放数据通信。用于支持SIMATIC S7和PC以及非西门子支持的TCP/IP以太网系统。ISO-on-TCP符合TCP/IP，但相对于标准的TCP/IP，还附加了RFC 1006协议，RFC 1006是一个标准协议，该协议描述了如何将ISO映射到TCP上去。

（3）UDP

UDP（User Datagram Protocol，用户数据报协议）属于第4层协议，提供了S5兼容通信协议，适用于简单的交叉网络数据传输，没有数据确认报文，不检测数据传输的正确性。

（4）TCP/IP

TCP/IP中传输控制协议，由网络层的IP协议和传输层的TCP协议组成。TCP/IP定义了电子设备如何连入因特网，以及数据如何在它们之间传输的标准。TCP支持面向TCP/IP的Socket。

TCP支持给予TCP/IP的发送和接收，使得设备（例如PC或非西门子设备）在工业以太网上的通信非常容易。该协议支持大数据量的数据传输（最大8KB)，数据可以通过工业以太网或TCP/IP网络（拨号网络或因特网）传输。通过TCP，SIMATIC S7可以建立TCP连接来发送/接收数据。

2. S7通信

S7通信（S7 Communication）集成在每一个SIMATIC S7/M7和C7的系统中，属于OSI参考模型第7层应用层的协议，它独立于各个网络，可以应用于多种网络（MPI、PROFIBUS、工业以太网)。S7通信通过不断地重复接收数据来保证网络报文的正确。在SIMATIC S7中，通过组态建立S7连接来实现S7通信。在PC上，S7通信需要通过SAPI-S7接口函数或OPC（过程控制用对象链接与嵌入）来实现。

3. 实例

以下用两台S7-300 PLC的以太网通信为例，介绍S7-300 PLC之间的以太网通信。

【例4-15】有两台设备，分别由一台CPU 314C-2DP控制，要求从设备1上的CPU314C-2DP的MB10发出1个字节到设备2的CPU314C-2DP的MB10，对从设备2上的CPU314C-2DP的MB20发出1个字节到设备1的CPU314C-2DP的MB20。

【解】

S7-300 PLC之间的组态可以采用很多连接方式，如TCP/IP、ISO-on-TCP和S7 Com-

munication 等，以下仅介绍 TCP/IP 连接方式。

（1）软硬件配置

S7-300 PLC 之间的以太网通信硬件配置如图 4-180 所示，本例用到的软硬件如下：

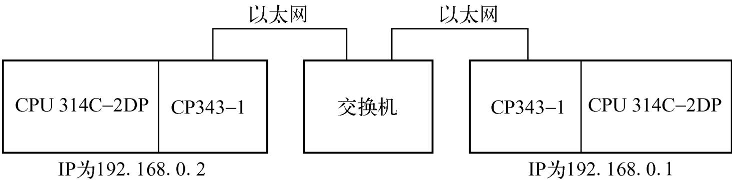


图 4-180　S7-300 间的以太网通信硬件配置图

① 2 台 CPU 314C-2DP。

② 2 台 CP343-1 以太网模块。

③ 1 根 PC/MPI 适配器（USB 口）。

④ 1 台个人计算机（含网卡）。

⑤ 1 台 8 口交换机。

⑥ 2 根带水晶接头的 8 芯双绞线（正线）。

⑦ 1 套 STEP 7 V5. 5 SP2。

（2）硬件组态

1）新建工程。新建工程，命名为“Enet_TCP”，再插入两个站分别是 CLIENT 和 SERVER，每个站点上，配置一台 CP343-1 以太网通信模块，如图 4-181 所示。

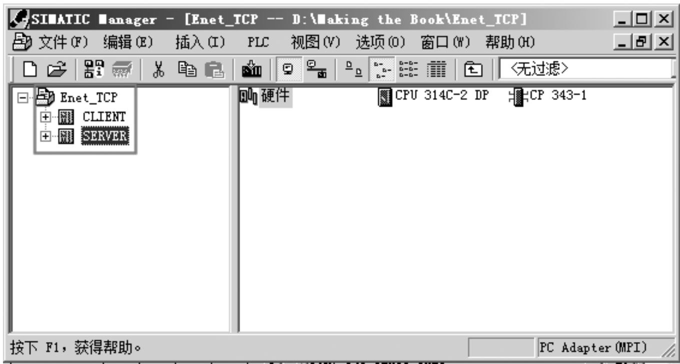


图 4-181　新建工程

【关键点】西门子工业以太网通信中，客户端（CLIENT）是主控站，实际是主站，服务器端（SERVER）是被控站，实际是从站。

2）组态以太网。双击“硬件”，弹出如图 4-182 所示界面，选中“CP 343-1”的“PN-IO”，并双击之，弹出如图 4-183 所示界面，单击“属性”按钮，弹出如图 4-184 所示界面。

3）新建网络。单击“新建”按钮，弹出如图 4-184 所示界面，单击“确定”按钮，弹出如图 4-185 所示界面，再单击“确定”按钮。

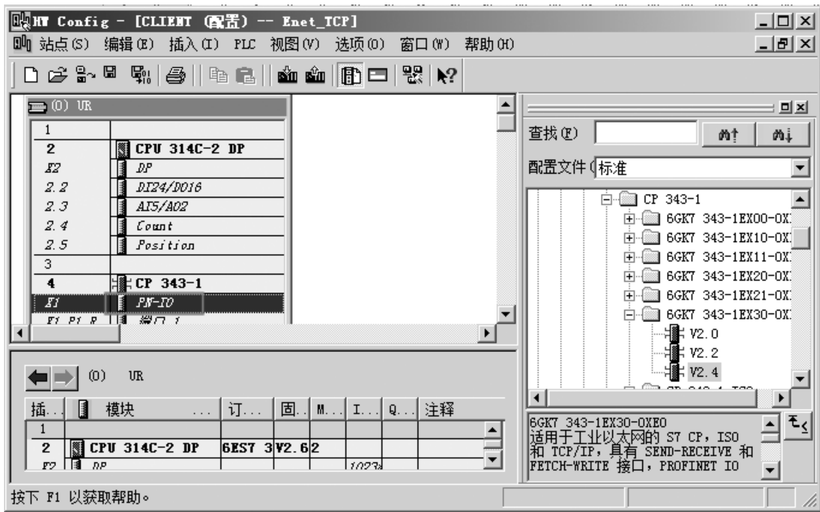


图 4–182　组态以太网（1）



图 4–183　组态以太网（2）



图 4–184　新建以太网（1）

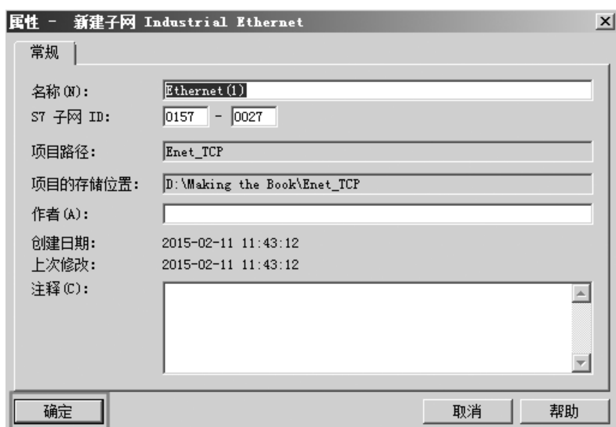


图 4-185　新建以太网（2）

4）设置网络参数。如图 4-186 所示，先选中“Ethernet（1）”，再在“IP 地址”中设置“192.168.0.1”，在“子网掩码”中设置“255.255.255.0”，单击“确定”按钮。



图 4-186　设置网络参数

5）采用同样的方法，配置第二个以太网模块的参数，不同之处在于，将“IP 地址”设置成“192.168.0.2”。

【关键点】 *同一个网络中，IP 地址是唯一的，绝对不允许重复。*

6）打开网络连接。返回管理界面，如图 4-187 所示，先选中“Ethernet（1）”，再双击“Ethernet（1）”，弹出如图 4-188 所示界面。

7）组态以太网连接。如图 4-188 所示，先选中客户端的“1”处，单击鼠标右键，弹出快捷菜单，再单击“插入新连接”，弹出如图 4-189 所示界面。

【关键点】 *若一个 PLC 中选择了“插入新连接”选项，另一 PLC 则不必激活此项，必须有一台 PLC 选择此选项，以便在通信初始化中起到主动连接的作用。*

8）添加一个 TCP 连接。如图 4-189 所示，先选中“CPU 314C-2DP”，然后选择“TCP 连接”，然后单击“应用”按钮，弹出如图 4-190 所示界面。

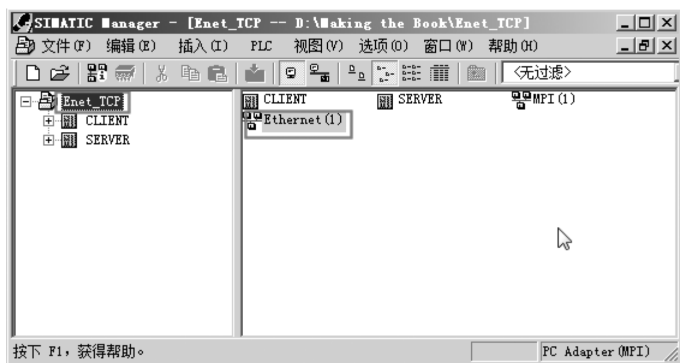


图 4-187　打开网络连接界面

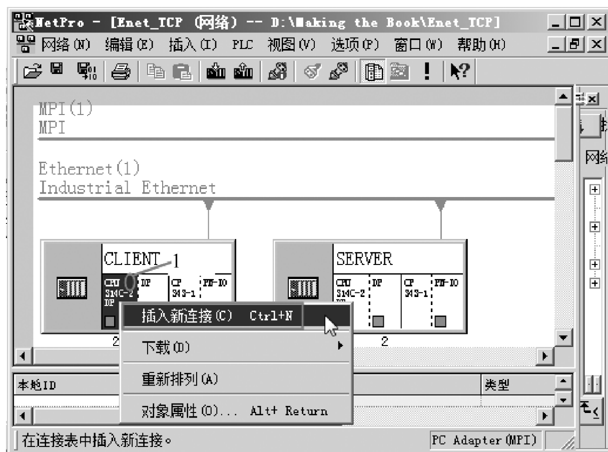


图 4-188　组态以太网连接

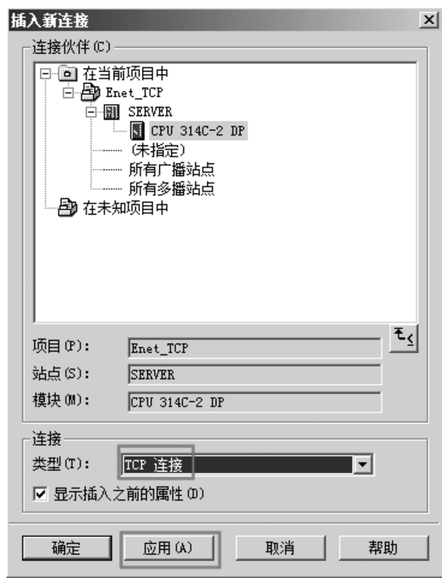


图 4-189　添加一个 TCP 连接

9）设置网络连接参数。如图 4-190 所示，先选择“激活连接”，再单击“确定”按钮。



图 4-190　设置网络连接参数

在如图 4-191 中的“地址”选项卡中可以看到通信双方的 IP 地址，占用的端口号可以自己设置，也可以使用默认值，如 2001。编译后存盘，至此硬件组态完成。



图 4-191　设置 TCP/IP 端口

【关键点】 图 4-190 中的 ID 是组态时的连接号，LADDR 是模块硬件组态地址，地址相同才能通信，在编程时要用到。

（3）相关指令简介

AG_SEND 块将数据传送给以太网 CP，用于在一个已组态的 ISO 传输连接上进行传输。所选择的数据区可以是一个位存储器区或一个数据块区。当可以在以太网上发送整个用户数据区时，指示无错执行该功能。AG_SEND 的各项参数见表 4-28。

表 4-28　AG_SEND（FC5）指令格式

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
"AG_SEND" EN　ENO ACT　DONE ID　ERROR LADDR　STATUS SEND LEN	EN	使能	BOOL
	ACT	发送请求	BOOL
	ID	组态时的连接号	INT
	LADDR	模块硬件组态地址	WORD
	SEND	发送的数据区	ANY
	LEN	发送数据长度	INT
	ERROR	错误代码	BOOL
	STATUS	返回数值（如错误值）	WORD
	DONE	发送是否完成	BOOL

AG_RECV 功能（FC）接收从以太网 CP 在已组态的连接上传送的数据。为数据接收指定的数据区可以是一个位存储区或一个数据块区。当可以从以太网 CP 上接收数据时，指示无错执行该功能。AG_RECV 的各项参数见表 4-29。

（4）编写程序

在编写程序时，双方都需要编写发送 AG_SEND（FC5）指令和接收 AG_RECV（FC6）指令，客户端（IP 地址为 192.168.0.1）的梯形图如图 4-192～图 4-194 所示。

表 4-29　AG_RECV 指令格式

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
"AG_RECV" EN　ENO ID　NDR LADDR　ERROR RECV　STATUS LEN	EN	使能	BOOL
	ID	组态时的连接号	INT
	LADDR	模块硬件组态地址	WORD
	RECV	接收数据区	ANY
	NDR	接收数据确认	BOOL
	ERROR	错误代码	BOOL
	STATUS	返回数值（如错误值）	WORD
	LEN	接收数据长度	INT

程序段 1：标题：

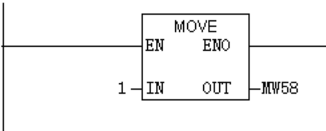


图 4-192　客户端 OB100 中的梯形图

程序段 1：接收信息

客户端把服务器的MB20接收到客户端的MB20；

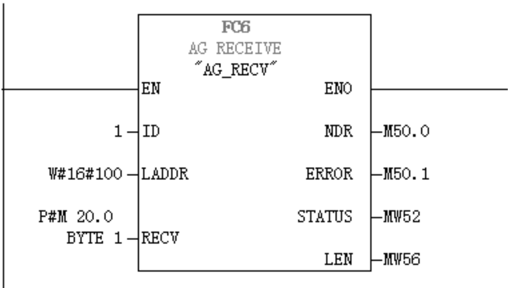


图 4-193　客户端 OB1 中的梯形图

程序段 1：发送信息

1、M100.5是秒脉冲；
2、将客户端的MB10发送到服务器的MB10

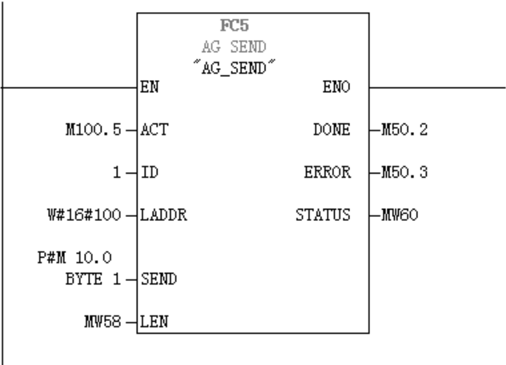


图 4-194　客户端 OB35 中的梯形图

服务器端（IP 地址为 192.168.0.2）中的梯形图程序如图 4-195 ~ 图 4-197 所示。

程序段 1：标题：

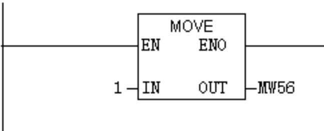


图 4-195　服务器端 OB100 中的梯形图

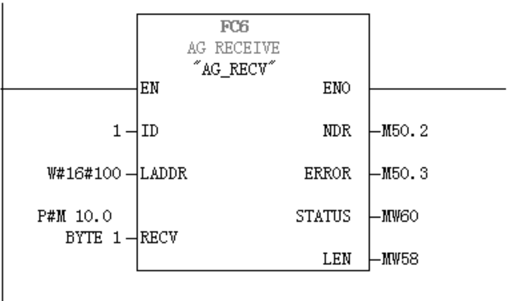


图 4-196　服务器端 OB1 中的梯形图

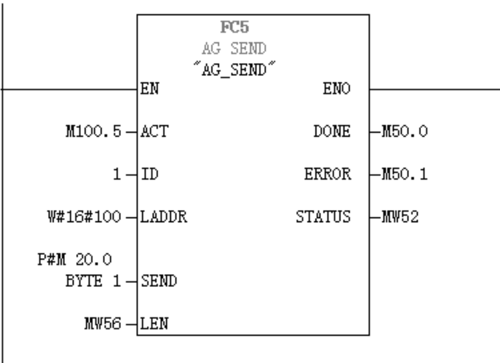


图 4-197　服务器端 OB35 中的梯形图

4.8.4　S7-400 PLC 与远程 IO 模块 ET200 之间的 PROFINET 通信

1. PROFINET 简介

PROFINET 是 PROFIBUS 组织推出的基于工业以太网的开放式现场总线。PROFINET 自动化通信领域提供了一个完整的网络解决方案，包括诸如实时以太网、运动控制、分布式自动化、故障安全及网络安全等自动化领域问题，并可以完全兼容工业以太网和现有的现场总线（如 PROFIBUS）技术。

PROFINET 是实时现场总线，可以用于对实时性高的场合，如运动控制。PROFINET 目前是西门子主推的现场总线，已经取代 PROFIBUS 成为西门子公司的标准配置。

2. 实例

PROFINET 有 2 种应用形式，PROFINET IO 和 PROFINET CBA。PROFINET IO 适合于模块化分布式的应用，与 PROFIBUS-DP 方式相似。PROFINET CBA 适合于智能站点之间的应用。以下通过一个例子介绍 PROFINET IO 的应用。

【例 4-16】 某系统的控制器有 S7-400、SM421、CP443-1、ET200M 和 SM323 组成，要用 S7-400 上的 2 个按钮控制远程站上的一台电动机的起停，请组态并编写相关程序。

【解】

（1）主要软硬件配置

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP2。

② 1 台 CP421-1。

③ 1 台 SM421 和 SM422。

④ 1 台 CP443-1。

⑤ 1 台 153-4 PN。

⑥ 1 台 EM323。

⑦ 1 根网线。

PROFINET 现场总线硬件配置如图 4-198 所示。

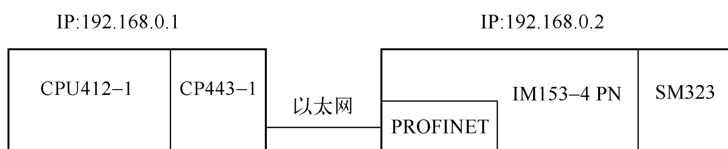


图 4-198　PROFINET 现场总线硬件配置

（2）硬件组态过程

1）新建项目。新建项目，命名为“Profi_IO”，插入站点 CPU 400，双击“硬件”，打开硬件组态界面，如图 4-199 所示。

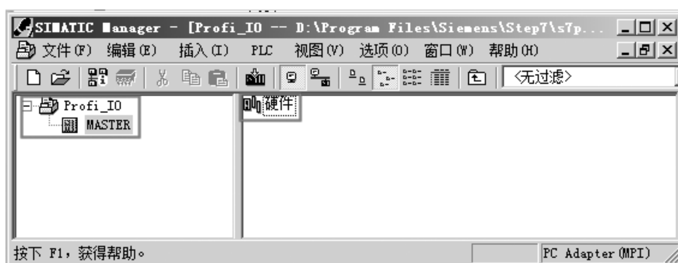


图 4-199　新建项目

2）组态硬件。先插入机架 UR2，再插入电源 PS 407 4A，然后插入 CP443-1、DO32 和 DI32 模块，如图 4-200 所示。



图 4-200　组态硬件

3）设置主站 IP 地址。双击如图 4-200 所示的“PN-IO”，打开“PN-IO”的属性界面，如图 4-201 所示，单击“属性”按钮，弹出如图 4-202 所示的界面，设置如图所示的 IP 地址，单击“确定”按钮即可。

4）网络组态。选中 PN-IO，单击鼠标右键弹出快捷菜单，单击“插入 PROFINET IO 系统”，如图 4-203 所示。



图 4-201　PN-IO 属性



图 4-202　设置主站 IP 地址



图 4-203　插入 PROFINET IO 系统

选中标记“1”处，单击“PROFINET IO”→“I/O”→“ET 200M”→“IM153-4 PN”，如图 4-204 所示。然后在远程 IO 模块上插入信号模块 SM323，如图 4-205 所示。



图 4-204　插入远程 IO 模块

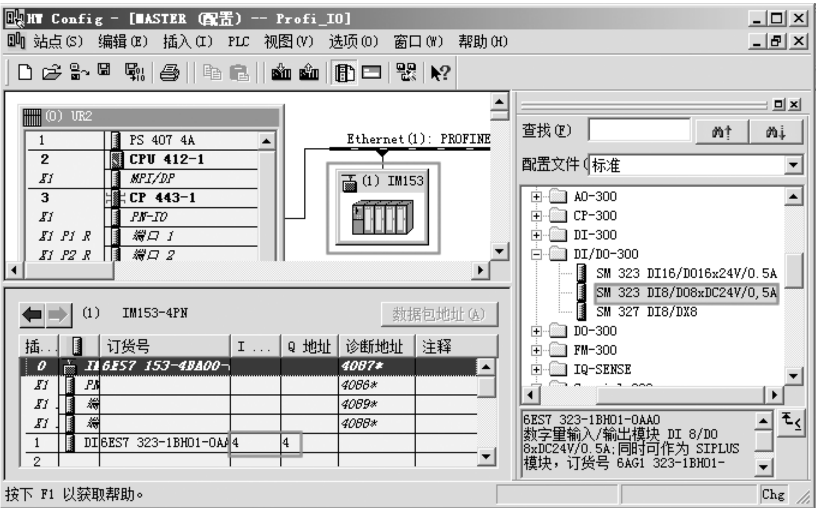


图 4-205　在远程 IO 模块上插入信号模块

5）分配设备名称和验证设备名称。PROFIBUS-DP 与远程 IO 通信的硬件组态做到上一步就已完成。因为远程 I0 的地址由拨码开关设置。而 IP 地址不能有拨码开关设置，因此将设备名称和 IP 地址绑定在一起，在验证设备时，将设备名称下载到远程 IO 模块的存储卡中，这样实际就是将 IP 地址下载到远程 IO 模块中。双击如图 4-205 所示的“IM153-4 PN”，弹出如图 4-206 所示界面，将设备“ET200M”与“192.168.0.2”关联，单击“确定”按钮，最后将整个以太网下载到 CPU 中。

在菜单栏中，单击“PLC”→“Ethernet”→“分配设备名称”，如图 4-207 所示，弹出图 4-208 所示界面，单击“Assign name”（分配名称），把模块的名称“ET200M”下载到 IP 地址为 192.168.0.2 的远程站里。



图 4-206　设备重命名



图 4-207　分配设备名称（1）

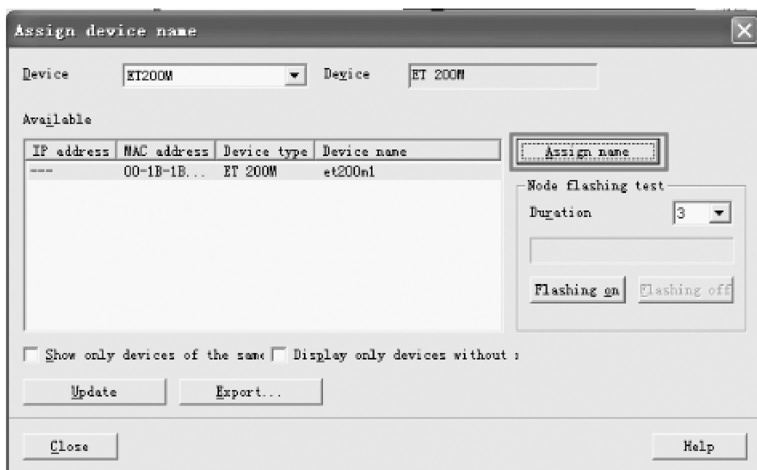


图 4-208　分配设备名称（2）

在菜单栏中，单击“PLC”→“Ethernet”→“验证设备名称”，如图 4-209 所示，弹出图 4-210 所示界面，可以看到“Status”（状态）下有一个“√”，表示验证成功。



图 4-209 验证设备名称（1）

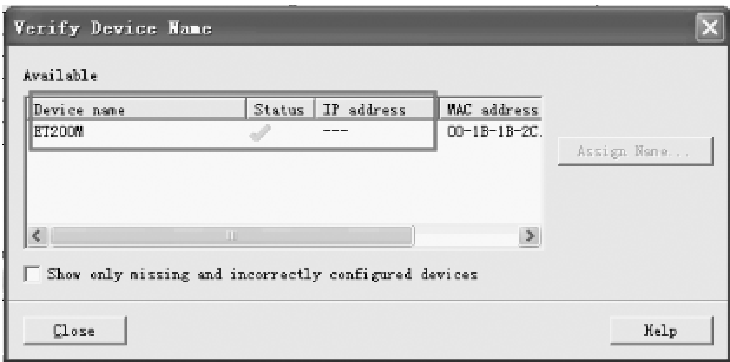


图 4-210 验证设备名称（2）

【关键点】分配设备名称和验证设备名称必须在 STEP7 与 CPU 处于连接状态下才能进行。

2. 编写程序

打开 OB1，在 OB1 中编写如图 4-211 所示的梯形图程序。

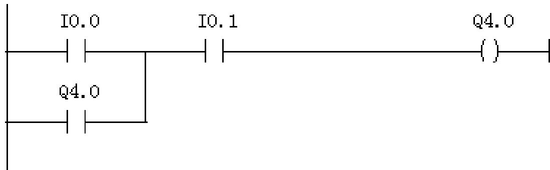


图 4-211 梯形图

第 5 章　PLC 在变频器调速系统中的应用

本章介绍 MM440 变频器的基本使用方法、PLC 控制变频器多段速度给定、PLC 控制变频器模拟量速度给定、USS 通信速度给定和 PROFIBUS 现场总线通信速度给定。

5.1　西门子 MM440 变频器

5.1.1　认识变频器

1. 初识变频器

变频器一般是利用电力半导体器件的通断作用将工频电源变换为另一频率的电能控制装置。变频器有着“现代工业维生素”之称，在节能方面的效果不容忽视。随着各界对变频器节能技术和应用等方面认识的逐渐加深，我国变频器市场变得异常活跃。

变频器产生的最初目的是速度控制，应用于印刷、电梯、纺织、机床和生产流水线等行业。而目前相当多的运用是以节能为目的。由于我国是能源消耗大国，而能源储备又相对贫乏，因此国家大力提倡各种节能措施，其中着重推荐了变频器调速技术。在水泵、中央空调等领域，变频器可以取代传统的限流阀和回流旁路技术，充分发挥节能效果；在火电、冶金、矿山以及建材等行业，高压变频调速的交流电机系统的经济价值正在得以体现。

变频器是一种高技术含量、高附加值、高效益回报的高科技产品，符合国家产业发展政策。在过去的二十几年，我国变频器行业从起步到目前正逐步趋于成熟，发展十分迅速。进入 21 世纪以来，我国中、低压变频器市场的增长速度超过了 20%，远远大于近几年的 GDP 增长水平。



图 5-1　变频器外形

从产品优势角度看，通过高质量地控制电动机转速，提高制造工艺水准，变频器不但有助于提高制造工艺水平，尤其在精细加工领域，可以有效地节约电能，是目前最理想、最有

前途的电动机节能设备。

从变频器行业所处的宏观环境看，无论是国家中长期规划、短期的重点工程、政策法规、国民经济整体运行趋势，还是人们节能环保意识的增强、技术的创新、发展高科技产业的要求，从国家相关部委到各相关行业，变频器都受到了广泛的关注，市场吸引力巨大。

2. 交－直－交变频调速的原理

图5-2所示为交－直－交变频调速的原理。交－直－交变频调速就是变频器先将工频交流电整流成直流电，逆变器在微控制器（如DSP）的控制下，将直流电逆变成不同频率的交流电。目前市面上的变频器多是依照这种原理工作的。

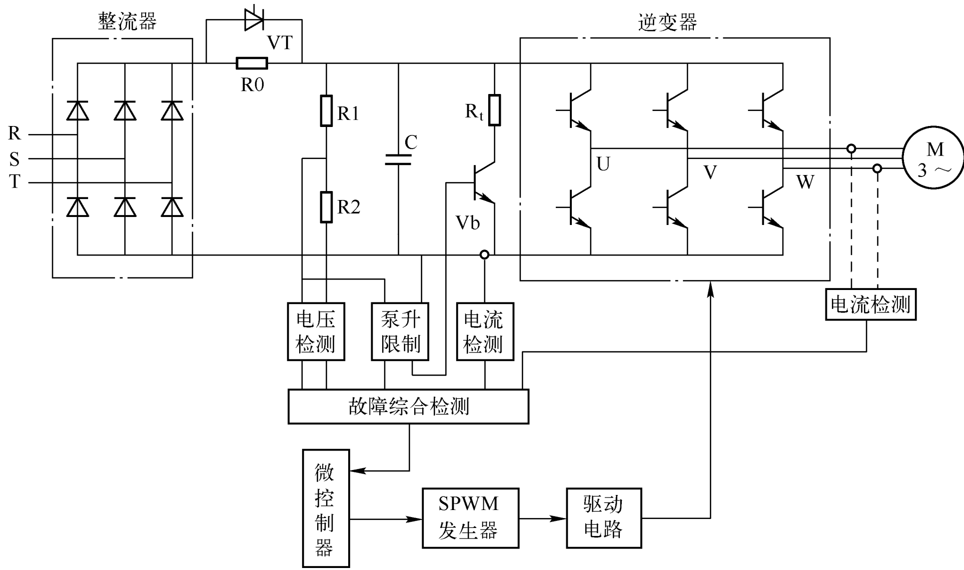


图5-2　变频器原理图

图5-2中R0起限流作用，当R、S、T端子上的电源接通时，R0接入电路，以限制启动电流。延时一段时间后，晶闸管VT导通，将R0短路，避免造成附加损耗。Rt为能耗制动电阻，当制动时，异步电动机进入发动机状态，逆变器向电容C反向充电，当直流回路的电压，即电阻R1、R2上的电压，升高到一定的值时（图中实际上测量的是电阻R2的电压），通过泵升电路使开关器件Vb导通，这样电容C上的电能就消耗在制动电阻Rt上。通常为了散热，制动电阻Rt安装在变频器外侧。电容C除了参与制动外，在电动机运行时，主要起滤波作用。顺便指出起滤波作用是电容器的变频器称为电压型变频器；起滤波作用是电感器的变频器称为电流型变频器，比较多见的是电压型变频器。

微控制器经运算输出控制正弦信号后，经过SPWM（正弦脉宽调制）发生器调制，再由驱动电路放大信号，放大后的信号驱动6个功率晶体管，产生三相交流电压U、V、W驱动电动机运转。

【例5-1】 如图5-2所示，若将变频器动力线的输入和输出接反是否可行？若不可行有什么后果？

【解】

将变频器的动力线的输入和输出接反是不允许的，可能发生爆炸。

5.1.2 西门子 MM440 变频器使用简介

1. 初识西门子 MM440 变频器

西门子 MM440 变频器由微处理器控制，并采用具有现代先进技术水平的绝缘栅双极性晶体管（IGBT）作为功率输出器件，它具有很高的运行可靠性和功能多样性。脉冲宽度调制的开关频率也是可选的，降低了电动机的运行的噪声。

MM440 变频器的框图如图 5-3 所示，控制端子定义见表 5-1。

表 5-1　MM440 控制端子表

端子序号	端子名称	功能	端子序号	端子名称	功能
1	–	输出 +10 V	16	DIN5	数字输入 5
2	–	输出 0 V	17	DIN6	数字输入 6
3	ADC1 +	模拟输入 1（+）	18	DOUT1/NC	数字输出 1/常闭触点
4	ADC1 –	模拟输入 1（–）	19	DOUT1/NO	数字输出 1/常开触点
5	DIN1	数字输入 1	20	DOUT1/COM	数字输出 1/转换触点
6	DIN2	数字输入 2	21	DOUT2/NO	数字输出 2/常开触点
7	DIN3	数字输入 3	22	DOUT2/COM	数字输出 2/转换触点
8	DIN4	数字输入 4	23	DOUT3NC	数字输出 3 常闭触点
9	–	隔离输出 +24 V/max. 100 mA	24	DOUT3NO	数字输出 3 常开触点
10	ADC2 +	模拟输入 2（+）	25	DOUT3COM	数字输出 3 转换触点
11	ADC2 –	模拟输入 2（–）	26	DAC2 +	模拟输出 2（+）
12	DAC1 +	模拟输出 1（+）	27	DAC2 –	模拟输出 2（–）
13	DAC1 –	模拟输出 1（–）	28	–	隔离输出 0 V/max. 100 mA
14	PTCA	连接 PTC/KTY84	29	P +	RS485
15	PTCB	连接 PTC/KTY84	30	P –	RS485

MM440 变频器的核心部件是 CPU 单元，根据设定的参数，经过运算输出控制正弦波信号，再经过 SPWM 调制，放大输出正弦交流电驱动三相异步电动机运转。

MM440 变频器是一个智能化的数字变频器，在基本操作板上可进行参数设置，参数可分为四个级别：

① 标准级，可以访问经常使用的参数。

② 扩展级，允许扩展访问参数范围，例如变频器的 I/O 功能。

③ 专家级，只供专家使用，即高级用户。

④ 维修级，只供授权的维修人员使用，具有密码保护。

【关键点】 对于一般的用户，将变频器设置成标准级或者扩展级即可。

BOP 基本操作面板的外形如图 5-4 所示，利用基本操作面板可以改变变频器的参数。BOP 具有 7 段显示的 5 位数字，可以显示参数的序号和数值、报警和故障信息以及设定值和实际值。参数的信息不能用 BOP 存储。BOP 基本操作面板上按钮的功能见表 5-2。

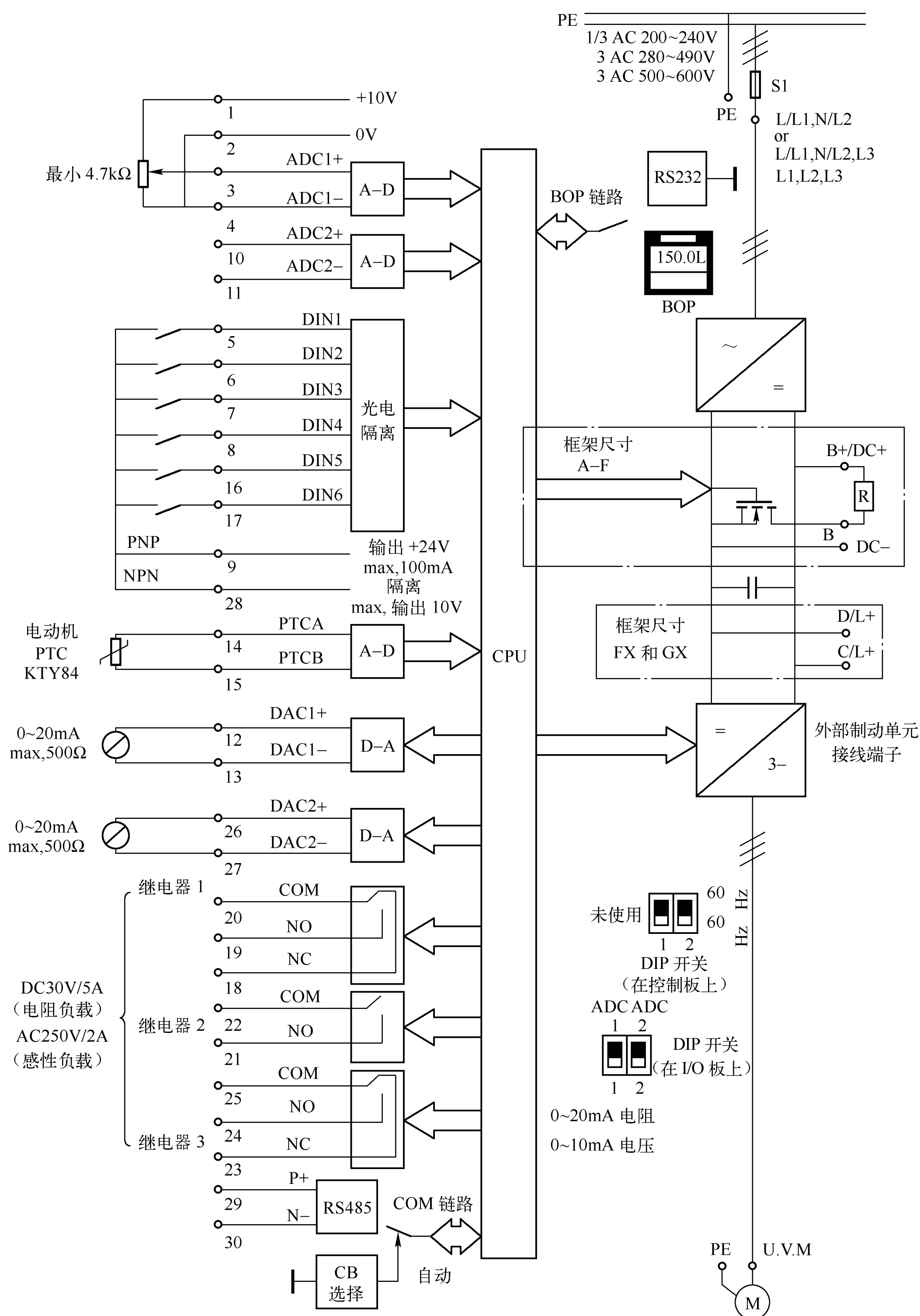


图 5−3 MM440 变频器的框图



图 5-4　BOP 基本操作面板的外形

表 5-2　BOP 基本操作面板上的按钮的功能

显示/按钮	功　　能	功能的说明
P(1) r0000 Hz	状态显示	LED 显示变频器当前的设定值
I	起动变频器	按此键起动变频器。默认值运行时此键是被封锁的。为了使能此键，应设定 P0700 = 1
0	停止变频器	OFF1：按此键，变频器将按选定的斜坡下降速率减速停车．默认值运行时此键被封锁；为了允许此键操作，应设定 P0700 = 1。OFF2：按此键两次（或一次，但时间较长）电动机将在惯性作用下自由停车，此功能总是“使能”的
	改变电动机的旋转方向	按此键可以改变电动机的旋转方向。电动机的反向用负号（ - ）表示或用闪烁的小数点表示。在默认设定时此键被封锁。为使此键有效，应先按“起动电动机”键
jog	电动机点动	在“准备合闸”状态下按压此键，则电动机起动并运行在预先设定的点动频率。当释放此键，电动机停车。当电动机正在旋转时，此键无功能
Fn	功能	此键用于浏览辅助信息 变频器运行过程中，在显示任何一个参数时按下此键并保持不动 2 s，将显示以下参数值（在变频器运行中，从任何一个参数开始）： 1. 直流回路电压（用 d 表示，单位：V） 2. 输出电流（A） 3. 输出频率（Hz） 4. 输出电压（用 o 表示 - 单位：V） 5. 由 P0005 选定的数值（如果 P0005 选择显示上述参数中的任何一个（3、4 或 5），这里将不再显示） 连续多次按下此键，将轮流显示以上参数 跳转功能 在显示任何一个参数（rXXXX 或 PXXXX）时短时间按下此键，将立即跳转到 r0000，如果需要的话，可以接着修改其他的参数。跳转到 r0000 后，按此键将返回原来的显示点
P	访问参数	按此键即可访问参数
	增加数值	按此键即可增加面板上显示的参数数值
	减少数值	按此键即可减少面板上显示的参数数值
Fn + P	AOP 菜单	调出 AOP 菜单提示（仅用于 AOP）

2. MM440 变频器 BOP 速度给定

以下用一个例子介绍 MM440 变频器 BOP 速度给定的过程。

【例 5-2】 一台 MM440 变频器配一台西门子三相异步电动机，已知电动机的技术参数，功率为 0.75 kW，额定转速为 1380 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 2.05 A，额定频率为 50 Hz，试用 BOP 设定电动机的运行频率为 10 Hz。

【解】

（1）先介绍如何设定参数

以下通过将参数 P1000 的第 0 组参数，即 P1000[0] = 1 的设置过程为例，讲解一个参数的设置方法。参数的设定方法见表 5-3。

表 5-3　参数的设定方法

序　　号	操 作 步 骤	BOP 显示
1	按 P 键，访问参数	r0000
2	按 ▲ 键，直到显示 P1000	P1000
3	按 P 键，显示 in000，即 P1000 的第 0 组值	in000
4	按 P 键，显示当前值 2	2
5	按 ▼ 键，达到所要求的数值 1	1
6	按 P 键，存储当前设置	P1000
7	按 Fn 键，显示 r0000	r0000
8	按 P 键，显示频率	10.00

（2）完整的设置过程

按照表 5-4 中的步骤进行设置。

表 5-4　设置过程

步骤	参数及设定值	说　　明	步骤	参数及设定值	说　　明
1	P0003 = 2	扩展级	8	P1000 = 1	频率源为 BOP
2	P0010 = 1	为 1 才能修改电动机参数	9	P0700 = 1	命令源（启停）为 BOP
3	P0304 = 380	额定电压	10	P1080 = 0	最小频率
4	P0305 = 2.05	额定电流	11	P1082 = 50	最大频率
5	P0307 = 0.75	额定功率	12	P1120 = 10	从静止到达最大频率所需时间
6	P0311 = 1440	额定转速	13	P1121 = 10	从最大频率到停止所需时间
7	P0010 = 0	运行和设定变频器参数时，必须为 0			

（3）启停控制

按下基本操作面板上的 I 按键，三相异步电动机启动，稳定运行的频率为 10 Hz；当按 O 按键时，电动机停机。

【关键点】初学者在设置参数时，有时不注意进行了错误的设置，但又不知道在什么参数的设置上出错，这种情况下可以对变频器进行复位。一般的变频器都有这个功能，复位后变频器的所有参数变成出厂的设定值，但工程中正在使用的变频器要谨慎使用此功能。西门子 MM440 的复位方法是先将 P0010 设置为 30，再将 P0970 设置为 1，变频器上的显示器中闪烁的“busy”消失后，变频器成功复位。

5.2 变频器多段速度给定

在基本操作面板上进行手动速度给定的方法简单，对资源消耗少，但这种速度给定方法对于操作者来说比较麻烦，而且不容易实现自动控制，而 PLC 控制的多段速度给定和通信速度给定，就容易实现自动控制，以下将介绍 PLC 控制的多段速度给定。

【例 5-3】有一台 MM440 变频器，接线图如图 5-5 所示，当按下按钮 SB1 时，三相异步电动机以 5 Hz 正转，当按下按钮 SB2 时，三相异步电动机以 10 Hz 正转，当按下按钮 SB3 时，三相异步电动机以 15 Hz 反转，已知电动机的技术参数，功率为 0.75 kW，额定转速为 1440 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 2.05 A，额定频率为 50 Hz，请设计方案。

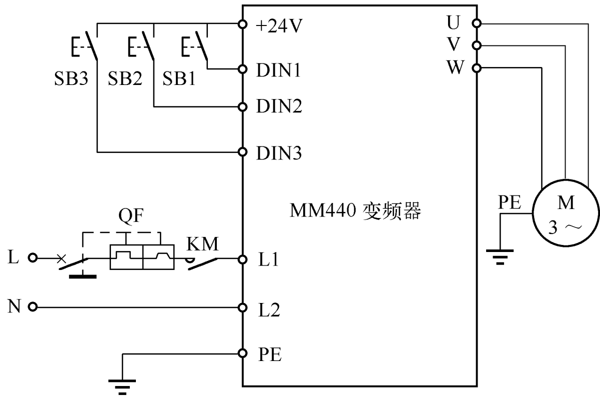


图 5-5　接线图

【解】

多段速度给定时，当按下按钮 SB1 时，DIN1 端子与变频器的 +24 V（端子 9）连接时对应一个频率，频率值设定在 P1001 中；当按下按钮 SB2 时，DIN2 端子与变频器的 +24 V（端子 9）连接时再对应一个频率，频率值设定在 P1002 中；当按下按钮 SB3 时，DIN3 端子与变频器的 +24 V 接通，对应一个频率，频率值设定在 P1003 中。变频器参数见表 5-5。

表 5-5　变频器参数

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功 能 说 明
1	P0304	380	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	1.8	2.05	电动机的额定电流（2.05 A）
3	P0307	0.75	0.75	电动机的额定功率（0.75 W）
4	P0310	50.00	50.00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	0	1440	电动机的额定转速（1440 r/min）

（续）

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功能说明
6	P1000	2	3	固定频率设定
7	P1080	0	0	电动机的最小频率（0 Hz）
8	P1082	50	50.00	电动机的最大频率（50 Hz）
9	P1120	10	10	斜坡上升时间（10 s）
10	P1121	10	10	斜坡下降时间（10 s）
11	P0700	2	2	选择命令源（由端子排输入）
12	P0701	1	16	固定频率设定值（直接选择＋ON）
13	P0702	12	16	固定频率设定值（直接选择＋ON）
14	P0703	9	2	反转
15	P1001	0.00	5	固定频率 1
16	P1002	5.00	10	固定频率 2
17	P1003	10.00	15	固定频率 3

【例 5-4】用一台继电器输出 CPU226CN（DC/AC/Relay）控制一台 MM440 变频器，当按下按钮 SB1 时，三相异步电动机以 5 Hz 正转，当按下按钮 SB2 时，三相异步电动机以 15 Hz 正转，当按下按钮 SB3 时，三相异步电动机以 15 Hz 反转，已知电动机的技术参数，功率为 0.06 kW，额定转速为 1430 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 0.35 A，额定频率为 50 Hz，请设计方案，并编写程序。

【解】

1. 主要软硬件配置。

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 台 MM440 变频器。

③ 1 台 CPU 226CN。

④ 1 台电动机。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

硬件配置如图 5-6 所示。

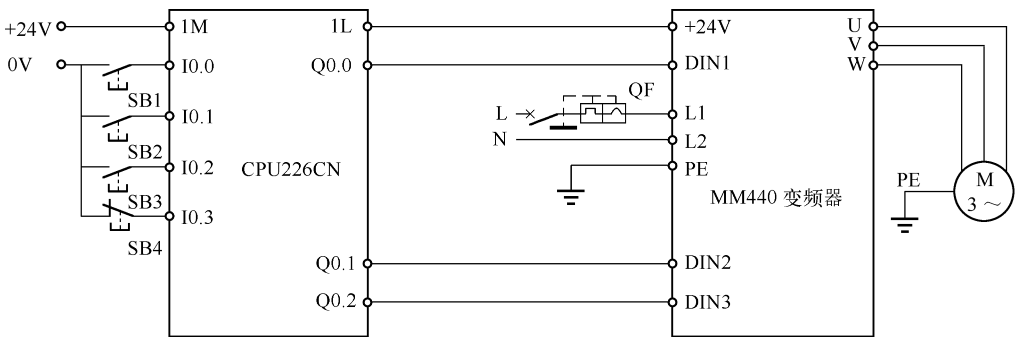


图 5-6　接线图（PLC 为继电器输出）

2. 参数的设置

多段速度给定时，当 DIN1 端子与变频器的 24 V（端子 9）连接时对应一个频率，当 DIN1

和 DIN2 端子同时与变频器的 24 V（端子 9）连接时再对应一个频率，DIN3 端子与变频器的 24 V 接通时为反转，DIN3 端子与变频器的 24 V 不接通时为正转。变频器参数见表 5-6。

表 5-6　变频器参数

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功能说明
1	P0304	230	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	1.8	0.35	电动机的额定电流（0.35 A）
3	P0307	0.75	0.06	电动机的额定功率（60 W）
4	P0310	50.00	50.00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	0	1430	电动机的额定转速（1430 r/min）
6	P1000	2	3	固定频率设定
7	P1080	0	0	电动机的最小频率（0 Hz）
8	P1082	50	50.00	电动机的最大频率（50 Hz）
9	P1120	10	10	斜坡上升时间（10 s）
10	P1121	10	10	斜坡下降时间（10 s）
11	P0700	2	2	选择命令源（由端子排输入）
12	P0701	1	16	固定频率设定值（直接选择 + ON）
13	P0702	12	16	固定频率设定值（直接选择 + ON）
14	P0703	9	12	反转
15	P1001	0.00	5	固定频率 1
16	P1002	5.00	10	固定频率 2

当 Q0.0 为 1 时，变频器的 9 号端子与 DIN1 端子连通，电动机以 5 Hz（固定频率 1）的转速运行，固定频率 1 设定在参数 P1001 中；当 Q0.0 和 Q0.1 同时为 1 时，DIN1 和 DIN2 端子同时与变频器的 24 V（端子 9）连接，电动机以 15 Hz（固定频率 1 + 固定频率 2）的转速运行，固定频率 2 设定在参数 P1002 中。

修改参数 P0701，对应设定数字输入 1（DIN1）的功能；修改参数 P0702，对应设定数字输入 2（DIN2）的功能，依次类推。

【关键点】不论是什么类型的 PLC，只要是继电器输出，其接线图都可以参考图 5-5，若增加三个中间继电器，则更加可靠，如图 5-7 所示。

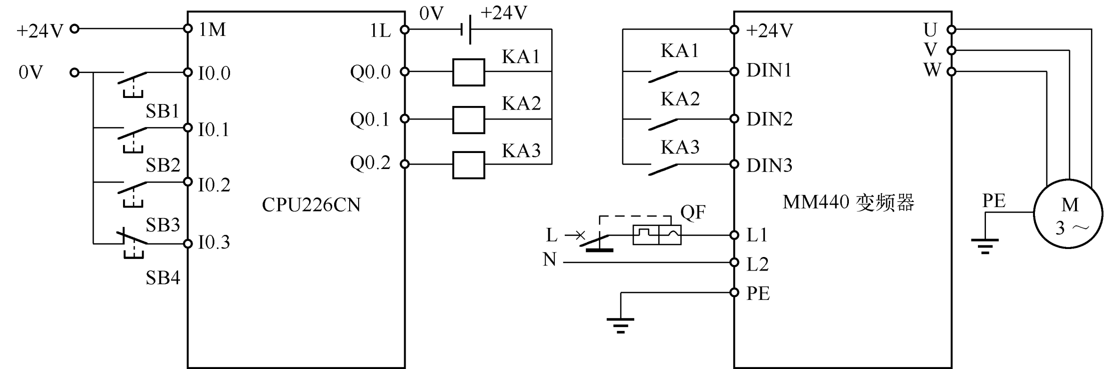


图 5-7　接线图（PLC 为继电器输出）

3. 编写程序

这个程序相对比较简单，如图 5-8 所示。

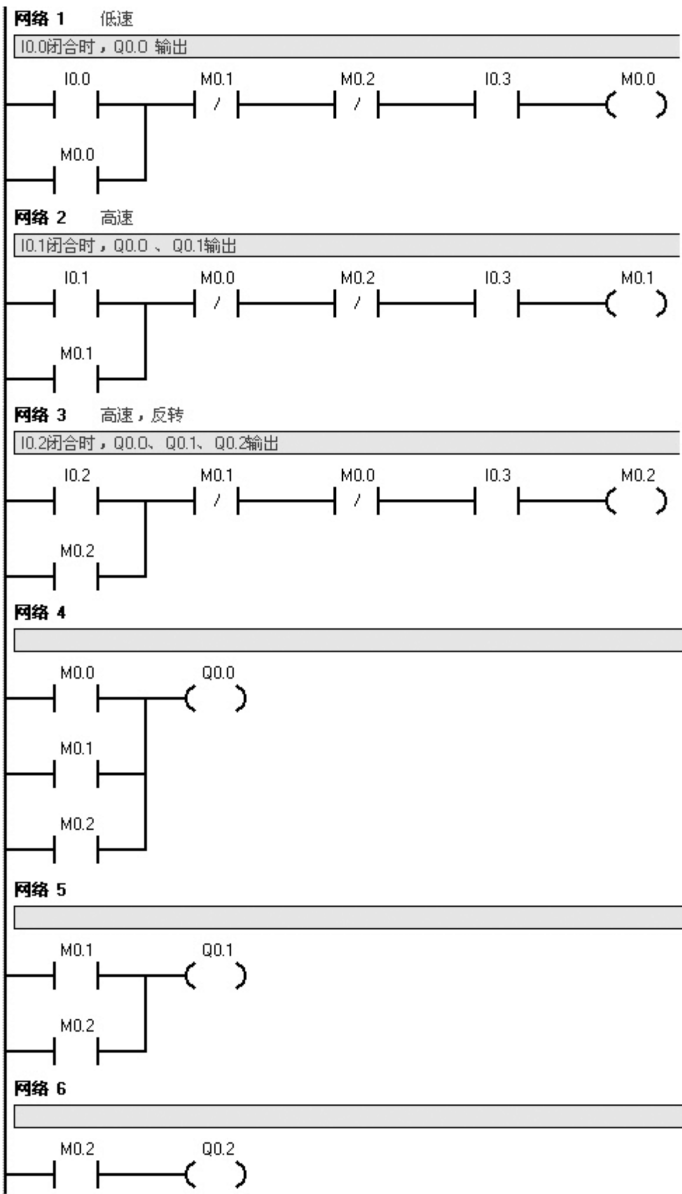


图 5-8 程序

4. PLC 为晶体管输出（PNP 型输出）时的控制方案

西门子的 S7-200 PLC 大多为 PNP 输出（目前只有 1 款为 NPN 输出），MM440 变频器的默认为 PNP 输入，因此电平是可以兼容的。由于 Q0.0（或者其他输出点输出时）输出的是 DC 24 V 信号，又因为 PLC 与变频器有共同的 0 V，所以，当 Q0.0（或者其他输出点输出时）输出时，就等同于 DIN1（或者其他数字输入）与变频器的 9 号端子（24 V）连通，硬

件配置如图 5-9 所示，控制程序与图 5-8 所示的相同。

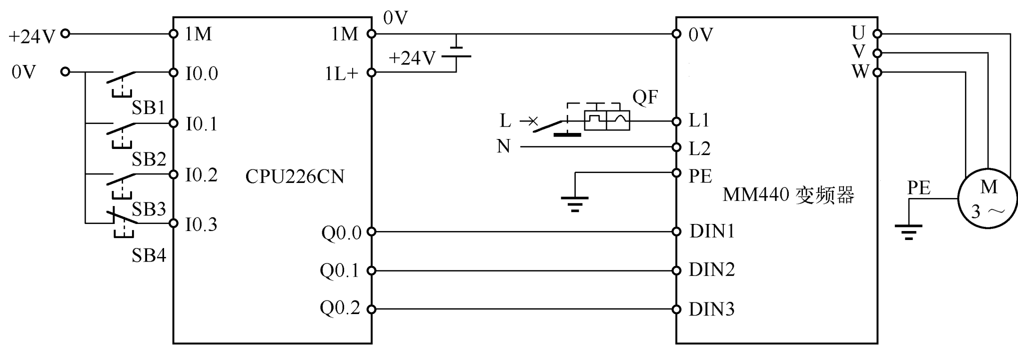


图 5-9　接线图（PLC 为 PNP 晶体管输出）

【**关键点**】PLC 为晶体管时，其 1 M（0 V）必须与变频器的 OV 短接，否则 PLC 的输出不能形成回路。

5. PLC 为晶体管输出（NPN 型输出）时的控制方案

日系的 PLC 晶体管输出多为 NPN 型，如三菱的 FX 系列 PLC（新型的 FX3U 也有 PNP 输出）多为 NPN 输出，而西门子 MM440 变频器默认为 PNP 输入，显然电平是不匹配的。所幸的是，西门子提供了解决方案，只要将参数 P0725 设置成 0（默认为 1），MM440 变频器就变成 NPN 输入，这样就与 FX 系列 PLC 的电平匹配了。接线（PLC 为 NPN 晶体管输出）如图 5-10 所示。

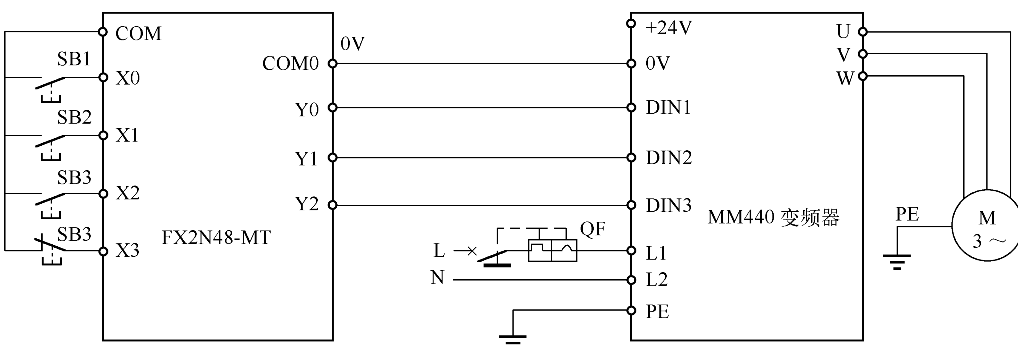


图 5-10　接线图（PLC 为 NPN 晶体管输出）

【**关键点**】必须将参数 P0725 设置成 0（默认为 1），MM440 变频器才能变成 NPN 输入，这样 MM440 变频器就与 FX 系列 PLC 的电平匹配了。有的变频器的输入电平的选择是通过跳线的方式实现的，如三菱的变频器。

6. S7-200（晶体管输出）控制三菱变频器的方案

西门子 S7-200 系列 PLC 大多为 PNP 输出（目前只有 1 款为 NPN 输出），三菱 A740 变频器的默认为 NPN 输入，因此电平是不兼容的。所幸，三菱变频器的输入电平也是输入和输出可以选择的，与西门子不同的是，需要将电平选择的跳线改换到 PNP 输入，而不需要

改变参数设置。其接线图如图 5-11 所示。

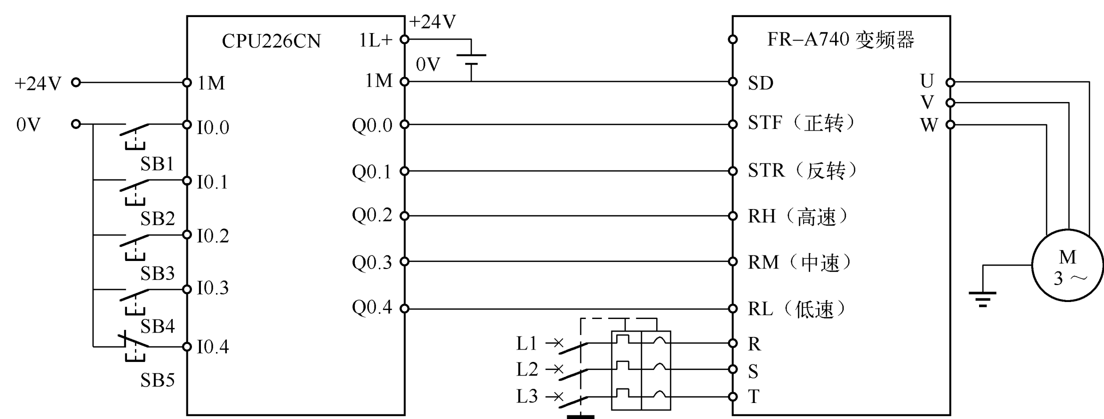


图 5-11　接线图（S7-200（晶体管输出）PLC，三菱 A740 变频器）

【关键点】将电平选择的跳线改换到 PNP 输入（由默认的“SINK”改成“SOURCE”）。此外，接线图要正确。三菱的强电输入接线端子（R、S、T）和强电输出端子（U、V、W）相距很近，接线时，切不可接反。

当三菱 A740 变频器的 STF 高电平时，电动机正转；STR 高电平时，电动机反转；RH 高电平时，电动机高速运行（15 Hz），RL 高电平时，电动机低速运行（5 Hz），程序如图 5-12 所示。

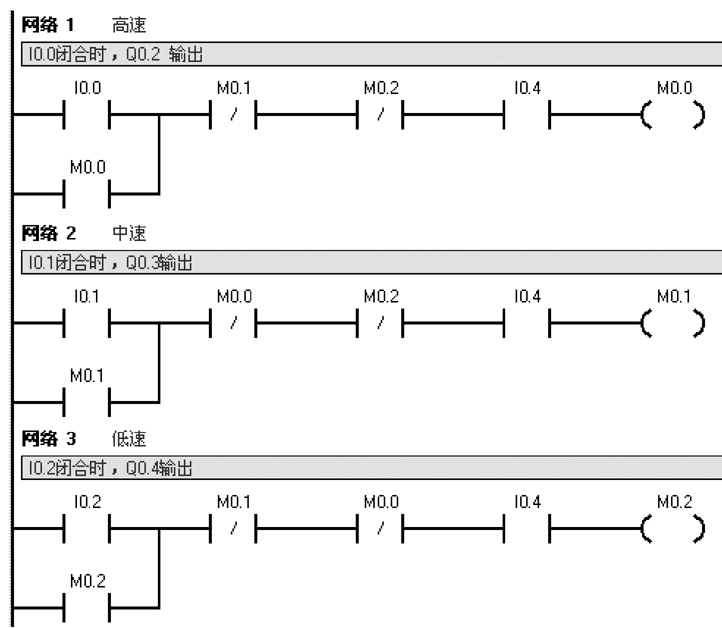


图 5-12　程序

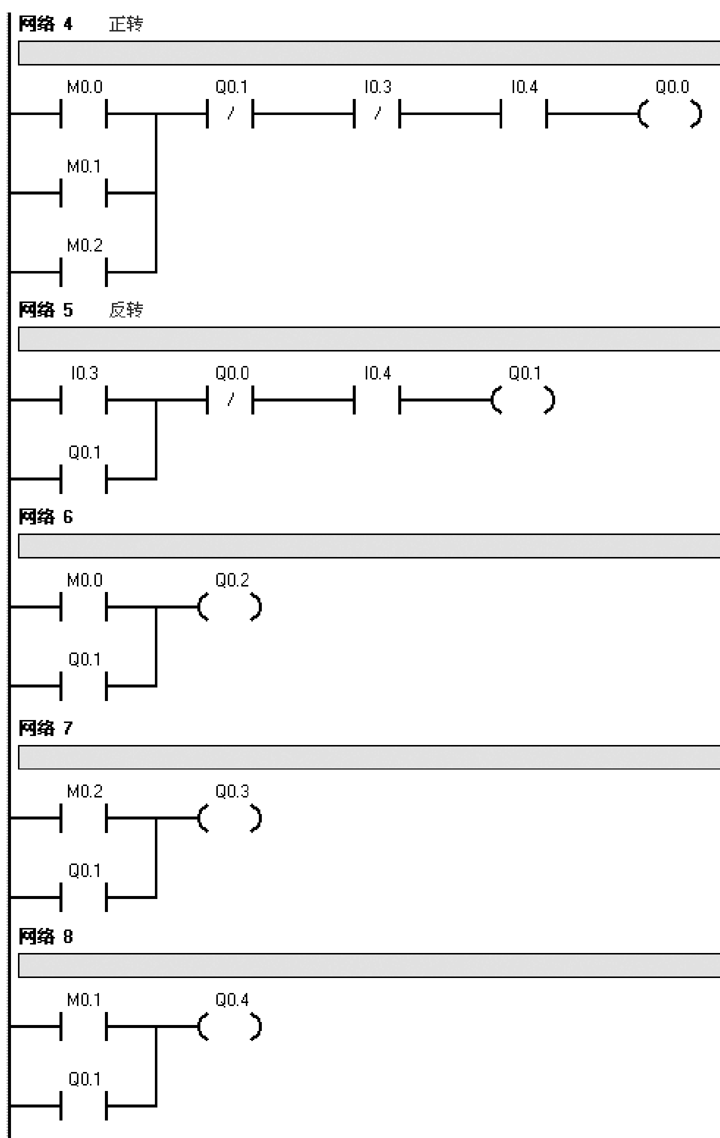


图 5-12 程序（续）

5.3 变频器模拟量速度给定

5.3.1 模拟量模块简介

1. S7-200 系列模拟量模块简介

（1）模拟量 I/O 扩展模块的规格

模拟量 I/O 扩展模块包括模拟量输入模块、模拟量输出模块和模拟量输入输出模块。部分模拟量模块的规格见表 5-7。

表 5-7　模拟量 I/O 扩展模块规格表

模块型号	输入点	输出点	电压	功耗/W	电源要求	
					DC 5 V	DC 24 V
EM 232	0	2	DC 24 V	2	20 mA	70 mA
EM 235	4	1	DC 24 V	2	30 mA	60 mA

（2）模拟量 I/O 扩展模块的接线

S7-200 系列的模拟量模块用于输入和输出电流或者电压信号。模拟量输出模块的接线如图 5-13 所示。

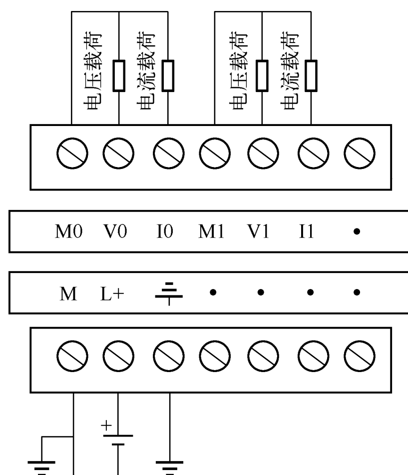


图 5-13　EM 232 模块接线图

模拟量输入模块有两个参数容易混淆，即模拟量转换的分辨率和模拟量转换的精度（误差）。分辨率是 A－D 模拟量转换芯片的转换精度，即用多少位的数值来表示模拟量。若 S7-200 模拟量模块的转换分辨率是 12 位，能够反映模拟量变化的最小单位是满量程的 1/4096。模拟量转换的精度除了取决于 A－D 转换的分辨率，还受到转换芯片的外围电路的影响。在实际应用中，输入的模拟量信号会有波动、噪声和干扰，内部模拟电路也会产生噪声和漂移，这些都会对转换后的精度造成影响。这些因素造成的误差要大于 A－D 芯片的转换误差。

当模拟量扩展模块的输入点/输出点有信号输入或者输出时，LED 指示灯不会亮，这点与数字量模块不同，因为西门子模拟量模块上的指示灯没有与电路相连。

使用模拟量模块时，要注意以下问题：

① 模拟量模块有专用的扁平电缆与 CPU 通信，并通过此电缆由 CPU 向模拟量模块提供 DC 5 V 的电源。此外，模拟量模块必须外接 DC 24 V 电源。

② 每个模块能同时输入/输出电流或者电压信号。双极性就是信号在变化的过程中要经过“零”，单极性不过零。由于模拟量转换为数字量是有符号整数，所以双极性信号对应的数值会有负数。在 S7-200 PLC 中，单极性模拟量输入/输出信号的数值范围是 0～32000；双极性模拟量信号的数值范围是－32000～+32000。

③ 一般电压信号比电流信号容易受干扰，应优先选用电流信号。电压型的模拟量信号，

由于输入端的内阻很高（S7-200 PLC 的模拟量模块为 10 MΩ），极易引入干扰。一般电压信号用于控制设备柜内电位器设置，或者距离非常近、电磁环境好的场合。电流型信号不容易受到传输线沿途的电磁干扰，因而在工业现场获得广泛的应用。电流信号的传输距离比电压信号远得多。

④ 对于模拟量输出模块，电压型和电流型信号的输出信号的接线不同，各自的负载接到各自的端子上。

⑤ 模拟量输出模块总是要占据两个通道的输出地址。即便有些模块（EM235）只有一个实际输出通道，它也要占用两个通道的地址。在编程计算机和 CPU 实际联机时，使用 Micro/WIN 的菜单命令“PLC→信息（Information）”，可以查看 CPU 和扩展模块的实际 I/O 地址分配。

2. S7-300 系列模拟量模块简介

（1）S7-300 系列模拟量模块的分类

S7-300 系列模拟量模块的种类比较多，主要有模拟量输入模块 SM331 系列、模拟量输出模块 SM332 系列以及模拟量输入/输出模块 SM334 和 SM335 系列，具体型号超过 30 种。按照分辨率分类，通常可分为 8 位、12 位和 16 位。

（2）接线方案

下面以 SM334（334 -0CE01 -0AA0）模块为例介绍模拟量模块的接线图。SM334 的接线图如图 5-14 所示。

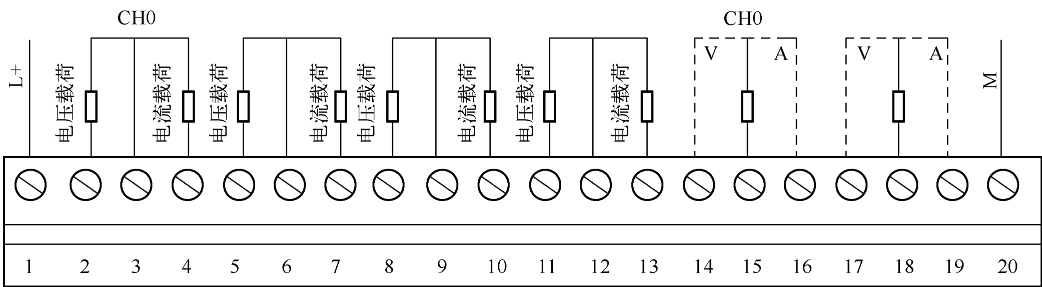


图 5-14　SM334 的接线图

5.3.2　模拟量速度给定（利用 S7-200 PLC）

数字量多段速度给定不能实现无级调速，而外部模拟量输入不但可以做到无级调速，容易实现自动控制，而且模拟量可以是电压信号或者电流信号，使用比较灵活，因此应用较广。以下用两个例子介绍模拟量速度给定。

【例 5-5】对一台变频器进行电压信号模拟量速度给定，已知电动机的技术参数，功率为 0.75 kW，额定转速为 1440 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 2.05 A，额定频率为 50 Hz。设计电气控制系统，并设定参数。

解：

电气控制系统如图 5-15 所示，只要调节电位器就可以实现对电动机进行无级调速，参数设定见表 5-8。

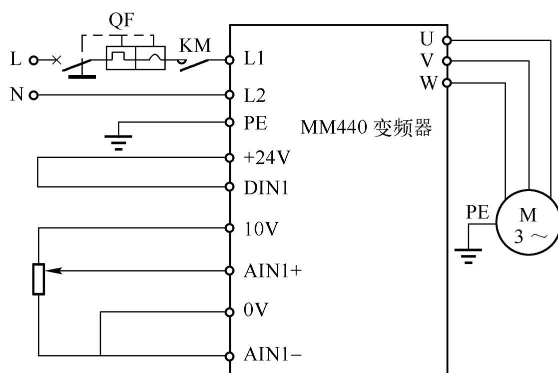


图 5-15　电气原理图

表 5-8　变频器参数表

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功能说明
1	P0304	380	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	1. 8	2. 05	电动机的额定电流（2. 05 A）
3	P0307	0. 75	0. 75	电动机的额定功率（0. 75 kW）
4	P0310	50. 00	50. 00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	0	1440	电动机的额定转速（1440 r/min）
6	P0700	2	2	选择命令源（由端子排输入）
7	P0756	0	0	选择 ADC 的类型（电压信号）
8	P1000	2	2	频率源（模拟量）
9	P701	1	1	数字量输入 1

【例 5-6】 用一台触摸屏、PLC 对变频器进行速度给定，已知电动机的技术参数，功率为 0. 06 kW，额定转速为 1430 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 0. 35 A，额定频率为 50 Hz。

【解】

1. 软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4. 0 SP9。

② 1 台 MM440 变频器。

③ 1 台 CPU 226CN。

④ 1 台电动机。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

⑥ 1 台 EM232。

⑦ 1 台 HMI。

将 PLC、变频器、模拟量输出模块 EM232 和电动机按照如图 5-16 所示接线。

【关键点】 接线时一定要将变频器的 0V 和 AIN1 - 短接，PLC 的 1M 与变频器的 0V 也要短接，否则不能进行调速。

2. 设定变频器的参数

先查询 MM440 变频器的说明书，再依次在变频器中设定表 5-9 中的参数。

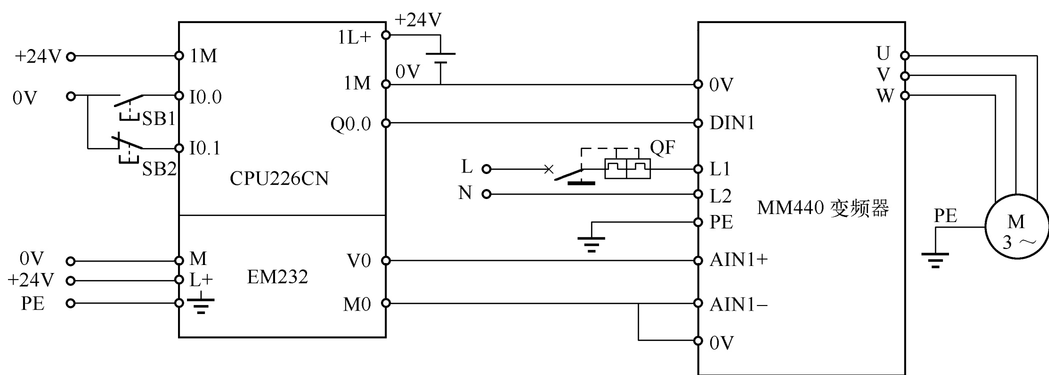


图 5-16　接线图

表 5-9　变频器参数表

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功 能 说 明
1	P0304	230	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	3. 25	0. 35	电动机的额定电流（0. 35 A）
3	P0307	0. 75	0. 06	电动机的额定功率（60 W）
4	P0310	50. 00	50. 00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	0	1430	电动机的额定转速（1430 r/min）
6	P0700	2	2	选择命令源（由端子排输入）
7	P0756	0	1	选择 ADC 的类型（电流信号）
8	P1000	2	2	频率源（模拟量）
9	P701	1	1	数字量输入 1

【关键点】P0756 设定成 1 表示电流信号对变频器进行速度给定，这是容易忽略的，默认是电压信号，这个参数的默认值为 0；此外，若调速模拟量是电流信号，还要将 I/O 控制板上的 DIP 开关设定为“ON”，如图 5-17 所示。本例的调速模拟量为电压信号，故不需要进行以上设置。

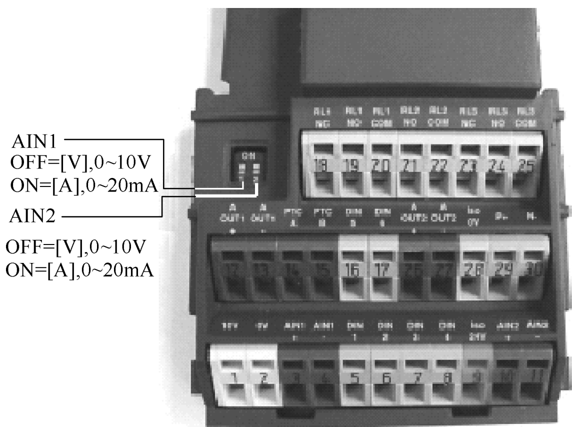


图 5-17　I/O 控制板上的 DIP 开关设定为“ON”

3. 编写程序，并将程序下载到 PLC 中

梯形图如图 5-18 所示。

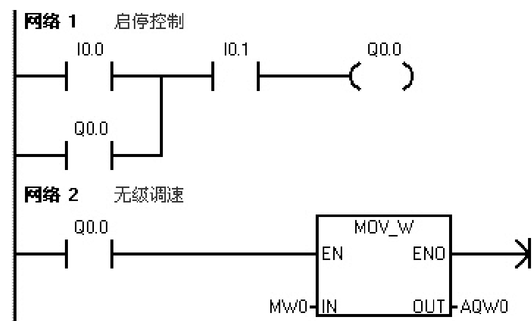


图 5-18 程序

5.3.3 模拟量速度给定（利用 S7-300 PLC）

在前面的章节介绍了 S7-200 PLC 对变频器进行速度给定，本节将介绍 S7-300 PLC 用电压信号对变频器进行速度给定。

【例 5-7】 用一台触摸屏、PLC 对变频器进行速度给定（如触摸屏中输入 1400 r/min，则电动机以 50 Hz 旋转），已知电动机的技术参数，功率为 0.75 kW，额定转速为 1400 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 2.05 A，额定频率为 50 Hz。请设计电气控制系统，并编写程序。

解：

1. 软硬件配置

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP3。

② 1 台 MM440 变频器。

③ 1 台 CPU 314C -2DP。

④ 1 台电动机。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

⑥ 1 台 SM334。

⑦ 1 台 HMI。

原理图如图 5-19 所示。

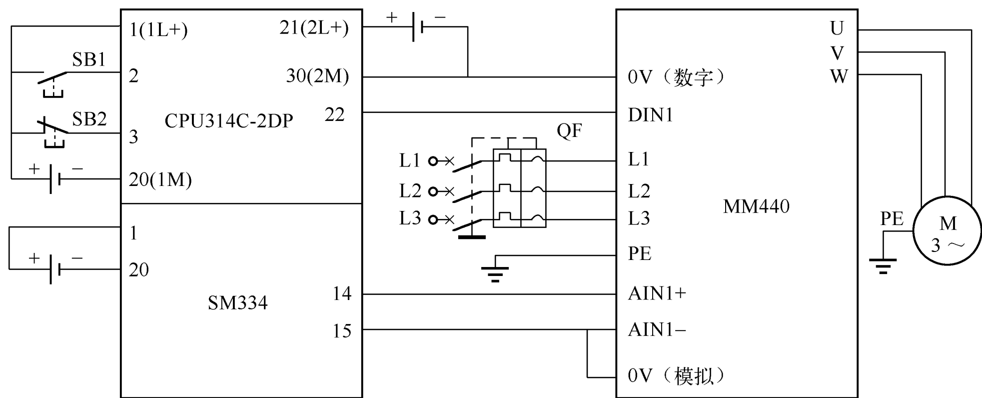


图 5-19 模拟量速度给定

2. 硬件组态

硬件组态如图5-20所示，可以看到SM334的模拟量输出的第0通道的地址为PQW256。双击“AI4/AO02”，选择“输出”选项卡，选择通道0的输出范围，并取消通道1，如图5-21所示。

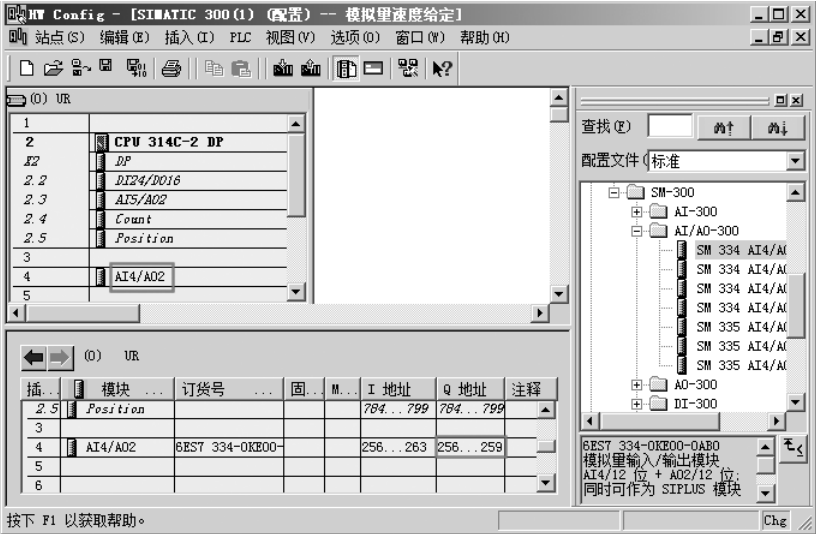


图5-20　硬件组态（1）

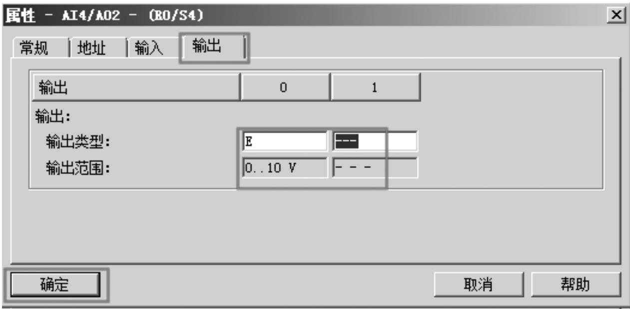


图5-21　硬件组态（2）

3. 设定变频器的参数

先查询MM440变频器的说明书，再依次在变频器中设定表5-10中的参数。

表5-10　变频器参数表

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功 能 说 明
1	P0304	380	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	2.05	2.05	电动机的额定电流（2.05 A）
3	P0307	0.75	0.75	电动机的额定功率（0.75 kW）
4	P0310	50.00	50.00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	1400	1400	电动机的额定转速（1400 r/min）
6	P0700	2	2	选择命令源（由端子排输入）

（续）

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功能说明
7	P0756	0	0	选择 ADC 的类型（电压信号）
8	P1000	2	2	频率源（模拟量）
9	P701	1	1	数字量输入 1

【关键点】 P0756 设定成 0 表示电压信号对变频器速度给定，默认是电压信号。此外，还要将 I/0 控制板上的 DIP 开关设定为“OFF”。

4. 编写程序，并将程序下载到 PLC 中

在组织块 OB1 输入如图 5-22 程序所示的梯形图，其功能是发送起停信号。在组织块 OB35 输入如图 5-23 程序所示的梯形图，其功能是每 100 ms 向变频器发送一个模拟量，其中 MW20 中的数据由触摸屏提供。

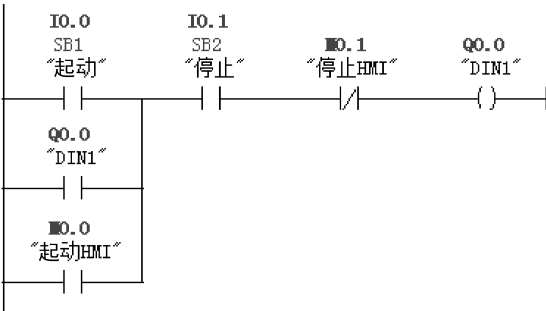
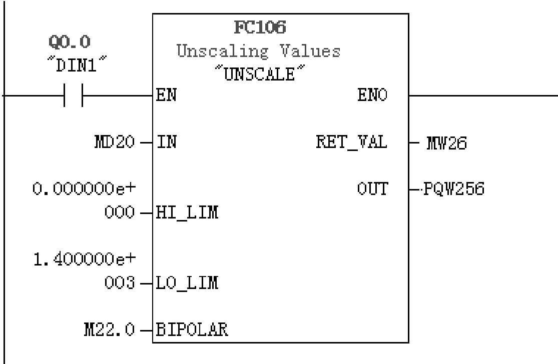


图 5-22　程序（组织块 OB1）



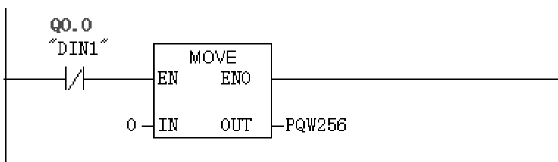


图 5-23　程序（组织块 OB35）

5.4 变频器的通信速度给定

5.4.1 MM440 变频器通信的基本知识

MM440 变频器既支持和主站的周期性数据通信，也支持和主站的非周期性数据通信，也就是说 S7-300 PLC 可以使用功能块（SFC14/SFC15）读取和修改 MM440 的参数值，调用一次可以读取或者修改一个参数。同时也可以使用功能块（SFC58/SFC59 或者 SFB52/SFB53）读取或者修改 MM440 的参数，一次最多可以读取或者修改 39 个参数。

有效的数据块分成两个区域即 PKW 区（参数识别 ID－数值区）和 PZD 区（过程数据），有效数据字符如图 5-24 所示。

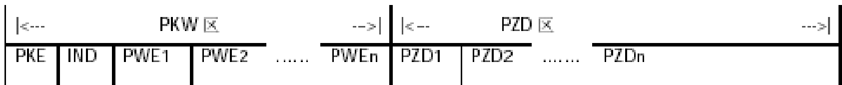


图 5-24 有效数据字符

① PKW 区说明。PKW 接口并非物理意义上的接口，而是一种机理，这一机理确定了参数在两个通信伙伴之间（例如控制装置与变频器）的传输方式，例如参数数值的读和写。

② PKW 区的结构。PKW 区前两个字（即 PKE 和 IND）的信息是关于主站请求的任务任务识别标记 ID 或应答报文的类型应答识别标记 ID。PKW 区的第 3、第 4 个字规定报文中要访问的变频器的参数号（PNU）PNU 的编号与 MICROMASTER4 的参数号相对应，例如，1082 = P1082 = Fmax。第一个字 PKE 见表 5－11，第二个字 IND 见表 5-12。

表 5-11 第一个字 PKE

第 1 个字 16 位 = PKE = 参数识别标记 ID		
位 15 ~ 12	AK = 任务或应答识别标记 ID	参看下文
位 11	SPM = 参数修改报告	不支持（总是 0）
位 10 ~ 00	b. PNU = 基本参数号	完整的 PNU 由基本参数号与 IND 的 15 ~ 12 一起构成

表 5-12 第二个字 IND

第 2 个字 16 位 = IND = 参数的下标		
位 15141312 $(2^{0}2^{3}2^{2}2^{1})$	PNU 扩展 PNU 页号	参看下文
位 11 ~ 10	备用	未使用
位 09 ~ 08	选择文本的类型 + 文本的读或写	未使用
位 07 ~ 00	下标哪个元素 哪个参数值 哪个元素说明 哪个下标文本是有效的 哪个数值文本是有效的	数值 255 = 下表参数数值或参数说明的全部元素。只有当 P2013 = 127 时才有可能

完整的参数号是由参数的任务/应答识别 ID（位 0～10）中的基本参数号和下标 PNU 页号中的位 12～15 一起产生的。第二个字 IND 参数下标见表 5-13。

表 5-13　第二个字 IND 参数下标

基本参数号任务/应答识别 标记 ID 中的位 10～0	PNU 页（下标中的位 15～12）	完整的 PNU = 基本 PNU + PNU（页号 * 2000）
0...1999	0	0...1999
0...1999	1	2000...3999
0...1999	2	4000...5999
…	…	…
0...1999	15	30000...31999

第 3 和第 4 个字 PWE1 和 PWE2 是被访问参数的数值，见表 5-14 和表 5-15。MICROMASTER4 的参数数值有许多不同的类型：整数（单字长或双字长）、十进制数（以 IEEE 浮点数的形式给出永远是双字长）以及下标参数（这里称为数组）。参数的含义决定于参数数值的类型和 P2013 的设置。

表 5-14　第三个字 PWE1

第三个字 PWE1 = 第一个参数数值		
	参数数值的类型	P2013 的设置
位 15～0	= 对于非数组参数是参数的数值 = 对于数组参数是第 n 个参数的数值和对于第 n 个元素的任务	当 P2013 的值 = 3（固定长度为 3 个字）或 = 127（长度可变）以及单字长参数时
	= 对于数组参数是第 1 个参数的数值和对于所有元素的任务	当 P2013 的值 = 127（长度可变）以及单字长参数时
	= 0	当 P2013 的值 = 4（固定长度为 4 个字）以及单字长参数时
	= 参数数值的高位字（非数组参数） = 对于数组参数是参数数值的高位字和对于第 n 个元素任务的高位字	当 P2013 的值 = 4（固定长度为 4 个字）或 = 127（长度可变）以及双字长参数时
	= 对于数组参数是第一个参数数值的高位字和对于所有元素任务的高位字	当 P2013 的值 = 127（长度可变）以及双字长参数时
	错误的数值	从站向主站发送，且应答标记 ID = 任务不能执行时

表 5-15　第四个字 PWE2

第四个字 PWE2 = 第二个参数数值		
	参数数值的类型	P2013 的设置
位 15～0	= 对于数组参数是第 2 个参数数值和对于所有元素的任务	当 P2013 的值 = 4（固定长度为 4 个字）或 = 127（长度可变）以及单字长参数时
	= 参数数值的低位字非数组参数 = 对于数组参数是第 n 个参数数值的低位字和对于第 n 个元素任务的低位字	当 P2013 的值 = 4（固定长度为 4 个字）或 = 127（长度可变）以及双字长参数时
	= 对于数组参数是第 1 个参数数值的低位字和对于所有元素任务的低位字	当 P2013 的值 = 127（长度可变） 以及双字长参数时

（续）

第四个字 PWE2 = 第二个参数数值		
	参数数值的类型	P2013 的设置
	= 下一个要访问的识别符标记 ID	从站向主站传送，且应答识别标记 ID = 任务不能执行时。错误的数值 = ID 不存在或 ID 不能访问时 当 P2013 的值 = 127 长度可变时
	= 下一个或前一个有效的数值 16 位 = 下一个或前一个有效的数值 32 位的高位字 根据以下判定条件： 如果新值 > 实际值 向下一个有效的数值 如果新值 < 实际值向前一个有效的数值	从站向主站传送且应答识别标记 ID = 任务不能执行时。错误的数值 = 数值不可接受或有新的最大/最小值存在。当 P2013 的值 = 127 长度可变时

参数识别标记 ID（PEK）总是一个 16 的值，位 0 ~ 10（PNU）包括所请求的参数号码，位 11（SPM）用于参数变更报告的触发位，位 12 ~ 15（AK）包括任务识别标记 ID 见表 5-16，应答标记 ID 见表 5-17。

表 5-16　任务识别标记 ID

任务识别标记 ID	含　　义	识别标记 ID	
		正	负
0	没有任务	0	-
1	请求参数数值	1 或 2	7
2	修改参数数值（单字）[只是修改 RAM]	1	7 或 8
3	修改参数数值（双字）[只是修改 RAM]	2	7 或 8
4	请求元素说明	3	7
5	修改元素说明（MICROMASTER4 不可能）	-	-
6	请求参数数值（数组），即带下标的参数	4 或 5	7
7	修改参数数值（数组，单字）[只是修改 RAM]	4	7 或 8
8	修改参数数值（数组，双字）[只是修改 RAM]	5	7 或 8
9	请求数组元素的序号，即下标的序号，“no.”	6	7
10	保留备用	-	-
11	存储参数数值（数组，双字）[RAM 和 EEPROM 都修改]	5	7 或 8
12	存储参数数值（数组，单字）[RAM 和 EEPROM 都修改]	4	7 或 8
13	存储参数数值（双字）[RAM 和 EEPROM 都修改]	2	7 或 8
14	存储参数数值（单字）[RAM 和 EEPROM 都修改]	1	7 或 8
15	读出或修改文本（MICROMASTER440 不可能）	-	-

表 5-17　应答识别标记 ID

任务识别标记 ID	含　　义	对任务识别标记 ID
0	不应答	0
1	传送参数数值（单）字	1、2 或 14
2	传送参数数值（双字）	1 3 或 13

（续）

任务识别标记 ID	含　　义	对任务识别标记 ID
3	传送说明元素	4
4	传送参数数值（数组，单字）	6、7 或 12
5	传送参数数值（数组，双字）	6、8 或 11
6	传送数组元素的数目	9
7	任务不能执行（有错误的数值）	1～15
8	对参数接口没有修改权	2、3、5、7、8
9～12	未使用	-
13	预留，备用	-
14	预留，备用	-
15	传送文本	15

5.4.2　S7-200 PLC 与 MM440 变频器的 USS 通信速度给定

S7-200 PLC 利用 USS 通信速度给定，STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9 软件中必须另外安装指令库，因为指令库不是 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9 的标准配置，需要购买。

【例 5-8】 用一台 CPU226CN 对变频器进行 USS 无级速度给定，已知电动机的技术参数，功率为 0.06 kW，额定转速为 1440 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 0.35 A，额定频率为 50 Hz。请制定解决方案。

解：

1. 软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9（含指令库）。

② 1 台 MM440 变频器。

③ 1 台 CPU226CN。

④ 1 台电动机。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

⑥ 1 根屏蔽双绞线。

电气原理图如图 5-25 所示。

【关键点】

① 图 5-25 中，编程口 PORT0 的第 3 脚与变频器的第 29 脚相连，编程口 PORT0 的第 8 脚与变频器的第 30 脚相连，并不需要占用 PLC 的输出点。还有一点要指出，STEP7-Micro/WIN V4.0 SP5 以前的版本中，USS 通信只能用 PORT0 口，而 STEP7-Micro/WIN V4.0SP5（含）之后的版本，则 USS 通信可以用 PORT0 口和 PORT1 口。调用不同的通信口使用的子程序也不同。

② 图 5-25 的 USS 通信连接是要求不严格时的做法，一般的工业现场不宜采用，工业现场的 PLC 端应使用专用的网络连接器，且终端电阻要接通，如图 5-26 所示；变频器端的连接图如图 5-27 所示，在购买变频器时附带有所需的电阻，并不需要另外购置。还有一点必须指出：如果有多台变频器，则只有最末端的变频器需要接入如图 5-27 的电阻。

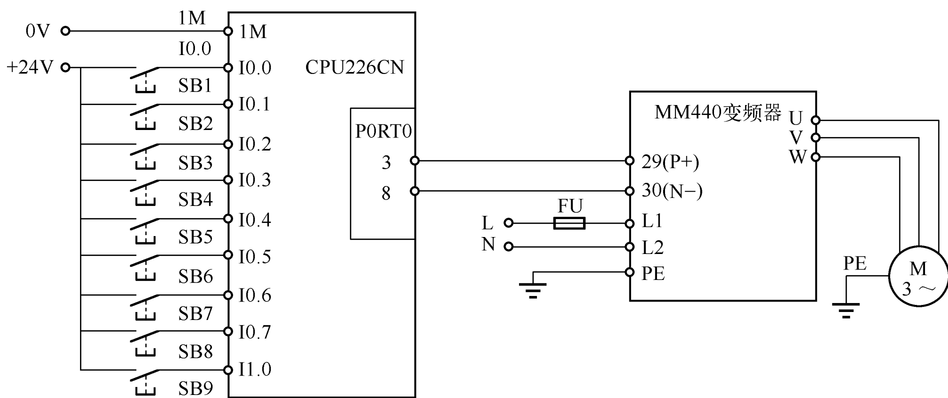


图 5-25　电气原理图

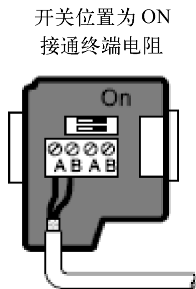


图 5-26　网络连接器图（PLC 端）

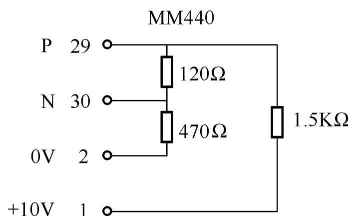


图 5-27　连接图（变频器端）

2. 相关指令介绍

（1）初始化指令

USS_INIT 指令被用于启用和初始化或禁止驱动器通信。在使用任何其他 USS 协议指令之前，必须执行 USS_INIT 指令，且无错。一旦该指令完成，立即设置“完成”位，才能继续执行下一条指令。

EN 输入打开时，在每次扫描时执行该指令。仅限为通信状态的每次改动执行一次 USS_INIT 指令。使用边缘检测指令，以脉冲方式打开 EN 输入。欲改动初始化参数，执行一条新 USS_INIT 指令。USS 输入数值选择通信协议：输入值 1 将端口 0 分配给 USS 协议，并启用该协议；输入值 0 将端口 0 分配给 PPI，并禁止 USS 协议。BAUD（波特率）将波特率设为 1200、2400、4800、9600、19200、38400、57600 或 115200Baud。

ACTIVE（激活）表示激活驱动器。当 USS_INIT 指令完成时，DONE（完成）输出打开。“错误”输出字节包含执行指令的结果。USS_INIT 指令格式见表 5-18。

站点号具体计算如下：

D31	D30	D29	D28	…	D19	D18	D17	D16	…	D3	D2	D1	D0
0	0	0	0		0	1	0	0		0	0	0	0

D0 ~ D31 代表 32 台变频器，要激活某一台变频器，就将该位置 1，上面的表格将 18 号变频器激活，其十六进制表示为 16#00040000。若要将所有 32 台变频器都激活，则 ACTIVE 为 16#FFFFFFFF。

表 5-18　USS_INIT 指令格式

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
USS_INIT EN Mode　Done Baud　Error Active	EN	使能	BOOL
	Mode	模式	BYTE
	Baud	通信的波特率	DWORD
	Active	激活驱动器	DWORD
	Done	完成初始化	BOOL
	Error	错误代码	BYTE

（2）控制指令

USS_CTRL 指令被用于控制 ACTIVE（激活）驱动器。USS_CTRL 指令将选择的命令放在通信缓冲区中，然后送至编址的驱动器（DRIVE（驱动器）参数），条件是已在 USS_INIT 指令的 ACTIVE（激活）参数中选择了该驱动器。仅限为每台驱动器指定一条 USS_CTRL 指令。USS_CTRL 指令格式见表 5-19。

表 5-19　USS_CTRL 指令格式

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
USS_CTRL EN RUN OFF2 OFF3 F_ACK　Resp_R DIR　Error Status Speed Drive　Run_EN Type　D_Dir Speed~　Inhibit Fault	EN	使能	BOOL
	RUN	模式	BOOL
	OFF2	允许驱动器滑行至停止	BOOL
	OFF3	命令驱动器迅速停止	BOOL
	F_ACK	故障确认	BOOL
	DIR	驱动器应当移动的方向	BOOL
	Drive	驱动器的地址	BYTE
	Type	选择驱动器的类型	BYTE
	Speed_SP	驱动器速度	D WORD
	Resp_R	收到应答	BOOL
	Error	通信请求结果的错误字节	BYTE
	Speed	全速百分比	D WORD
	Status	驱动器返回的状态字原始数值	WORD
	D_Dir	表示驱动器的旋转方向	BOOL
	inhibit	驱动器上的禁止位状态	BOOL
	Fault	故障位状态	BOOL

具体描述如下：

EN 位必须打开，才能启用 USS_CTRL 指令。该指令应当始终启用。RUN（运行）（RUN/STOP（运行/停止））表示驱动器是打开（1）还是关闭（0）。当 RUN（运行）位打开时，驱动器收到一条命令，按指定的速度和方向开始运行。为了使驱动器运行，必须符合三个条件，分别是 DRIVE（驱动器）在 USS_INIT 中必须被选为 ACTIVE（激活）；OFF2 和 OFF3 必须被设为 0；FAULT（故障）和 INHIBIT（禁止）必须为 0。

当 RUN（运行）关闭时，会向驱动器发出一条命令，将速度降低，直至电动机停止。OFF2 位被用于允许驱动器滑行至停止。OFF3 位被用于命令驱动器迅速停止。Resp_R（收到应答）位确认从驱动器收到应答。对所有的激活驱动器进行轮询，查找最新驱动器状态信息。每次 S7-200 从驱动器收到应答时，Resp_R 位均会打开，进行一次扫描，所有以下数值均被更新。F_ACK（故障确认）位被用于确认驱动器中的故障。当 F_ACK 从 0 转为 1 时，驱动器清除故障。DIR（方向）位表示驱动器应当移动的方向。“驱动器”（驱动器地址）输入是驱动器的地址，向该地址发送 USS_CTRL 命令。有效地址：0 ~ 31。“类型”（驱动器类型）输入选择驱动器的类型。将 3（或更早版本）驱动器的类型设为 0。将 4 驱动器的类型设为 1。

Speed_SP（速度设定值）是作为全速百分比的驱动器速度。Speed_SP 的负值会使驱动器反向旋转方向。范围：-200.0% ~200.0%。

Error 是一个包含对驱动器最新通信请求结果的错误字节。USS 指令执行错误主题定义可能因执行指令而导致的错误条件。

Status 是驱动器返回的状态字原始数值。

Speed 是作为全速百分比的驱动器速度。范围：-200.0% ~200.0%。

Run_EN（运行启用）表示驱动器是运行（1）还是停止（0）。

D_Dir 表示驱动器的旋转方向。

inhibit 表示驱动器上的禁止位状态（0 - 不禁止，1 - 禁止）。欲清除禁止位，“故障”位必须关闭，RUN（运行）、OFF2 和 OFF3 输入也必须关闭。

Fault 表示故障位状态（0 - 无故障，1 - 故障）。驱动器显示故障代码。欲清除故障位，纠正引起故障的原因，并打开 F_ACK 位。

3. 设置变频器的参数

先查询 MM440 变频器的说明书，再依次在变频器中设定表 5-20 中的参数。

表 5-20　变频器参数表

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功 能 说 明
1	P0304	230	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	3.25	0.35	电动机的额定电流（0.35 A）
3	P0307	0.75	0.06	电动机的额定功率（60 W）
4	P0310	50.00	50.00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	0	1440	电动机的额定转速（1430 r/min）
6	P0700	2	5	选择命令源（COM 链路的 USS 设置）
7	P1000	2	5	频率源（COM 链路的 USS 设置）
8	P2010	6	6	USS 波特率（6 ~ 9600）
9	P2011	0	18	站点的地址

【关键点】 P2011 设定值为 18，与程序中的地址一致，正确设置变频器的参数是 USS 通信成功的前提。此外，要选用 USS 通信的指令，只要双击在如图 5-28 所示的库中对应的指令即可。

4. 编写程序

编写梯形图程序，如图 5-29 所示。

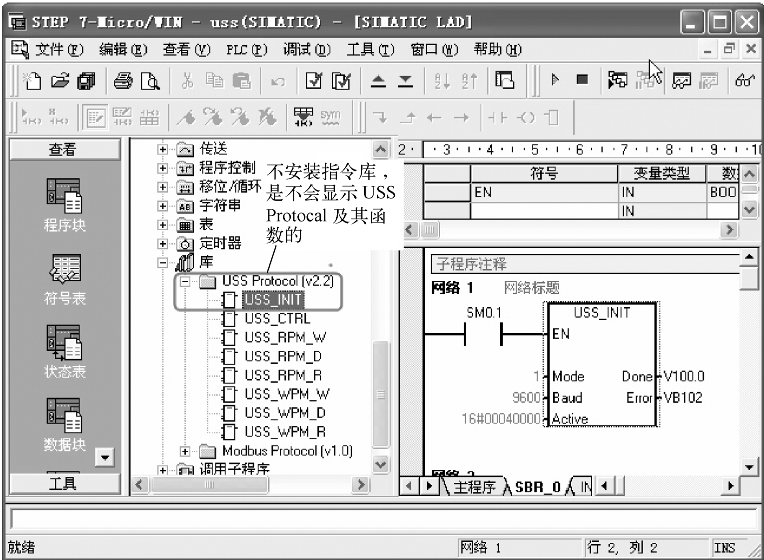


图 5-28　USS 指令库

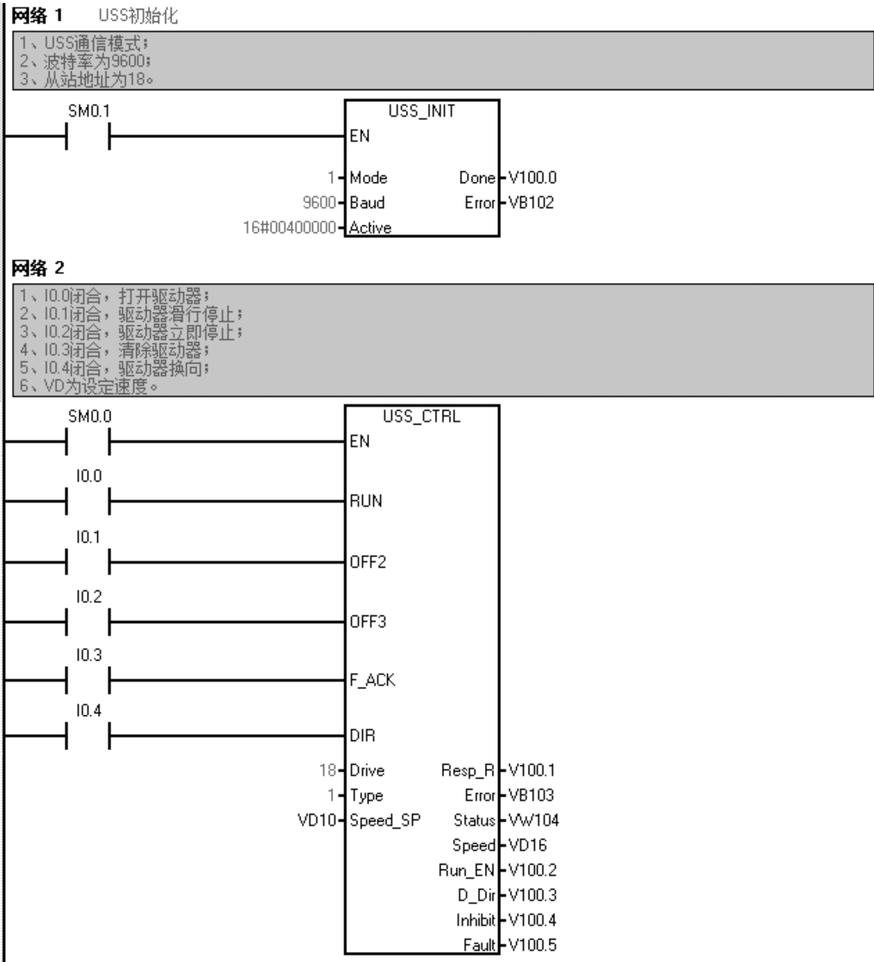


图 5-29　梯形图

5.4.3　S7-300 PLC 与 MM440 变频器的场总线通信速度给定

S7-200 PLC 可以与 MM440 变频器进行 USS 通信，USS 通信其实就是一种自由口通信。但由于 S7-200 PLC 只能作 PROFIBUS-DP 从站，不能作 PROFIBUS-DP 主站，MM440 变频器也只能作 PROFIBUS-DP 从站，不能作 PROFIBUS-DP 主站，因此 S7-200 PLC 不能作为主站对 MM440 变频器进行现场总线通信。但 S7-300 PLC 可以在 PROFIBUS-DP 网络中作主站。以下通过一个例子介绍 S7-300 与 MM440 变频器的场总线通信速度给定。

【例 5-9】 有一台设备，由 CPU314C-2DP 通过 PROFIBUS-DP 控制 MM440 变频器，实现电动机的“正-停-反”和无级调速，频率数值在 HMI 中设定，起动系统后，默认的频率为 40 Hz。已知电动机的技术参数，功率为 0.75 kW，额定转速为 1400 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 2.05 A，额定频率为 50 Hz。请设计此系统，并编写程序。

【解】

1. 软硬件配置

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP3。

② 1 台 MM440 变频器（含 PROFIBUS 模板）。

③ 1 台 CPU 314C-2DP。

④ 1 台电动机。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

⑥ 1 根 PROFIBUS 屏蔽双绞线。

⑦ 1 台 HMI。

硬件配置如图 5-30 所示，原理图如图 5-31 所示。

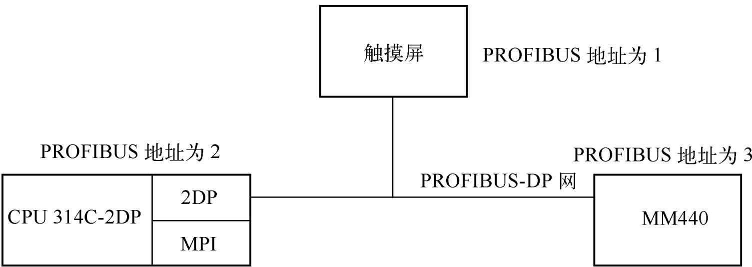


图 5-30　硬件配置图

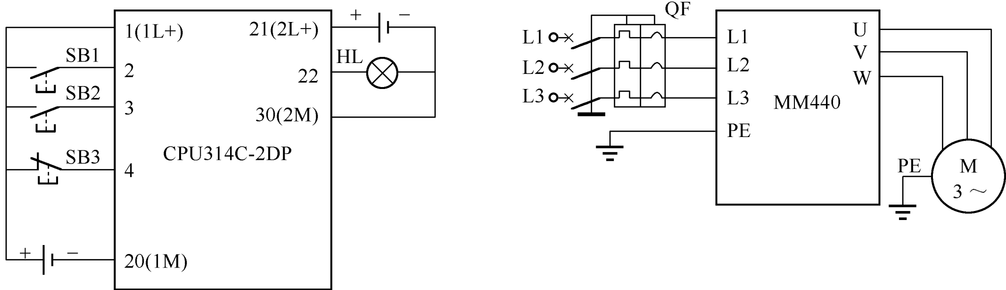


图 5-31　接线图

2. MM440 变频器的设置

MM440 变频器的参数见表 5-21。

表 5-21　变频器参数表

序号	变频器参数	出厂值	设定值	功 能 说 明
1	P0304	380	380	电动机的额定电压（380 V）
2	P0305	3. 25	2. 05	电动机的额定电流（2. 05 A）
3	P0307	0. 75	0. 75	电动机的额定功率（0. 75 kW）
4	P0310	50. 00	50. 00	电动机的额定频率（50 Hz）
5	P0311	1400	1400	电动机的额定转速（1400 r/min）
6	P0700	2	6	选择命令源（COM 链路的通信板 CB 设置）
7	P1000	2	6	频率源（COM 链路的通信板 CB 设置）
8	P2009	0	1	USS 规格化

MM440 变频器 PROFIBUS 站地址的设定在变频器的通信板（CB）上完成，通信板（CB）上有一排拨钮用于设置地址，每个拨钮对应一个“8－4－2－1”码的数据，所有的拨钮处于“ON”位置对应的数据相加的和就是站地址。拨钮示意图如图 5-32 所示，拨钮 1 和 2 处于“ON”位置，所以对应的数据为 1 和 2；而拨钮 3、4、5 和 6 处于“OFF”位置，所对应的数据为 0，站地址为 1＋2＋0＋0＋0＋0＋0＝3。

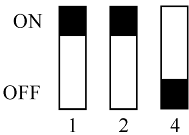


图 5-32　拨钮示意图

【关键点】 图 5-32 设置的站地址为 3，必须和 STEP 7 软件中硬件组态的地址保持一致，否则不能通信。

3. S7-300 的硬件组态

1）新建工程和 PROFIBUS 网络。将工程命名为“通信速度给定”。新建“PROFIBUS”网络，设置 CPU314C-2DP 的站地址为“2”，选中如图 5-33 所示中“1”处的网络，展开“PROFIBUS DP”。

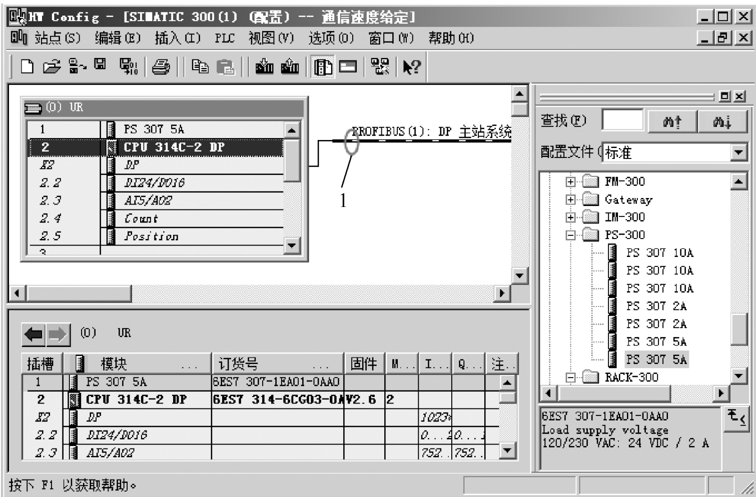


图 5-33　新建工程和 PROFIBUS 网络

2）选中“MICROMASTER 4”。如图 5-34 所示，先展开“SIMOVERT”，再选中“MICROMASTER 4”，并双击之，弹出如图 5-35 所示的界面。

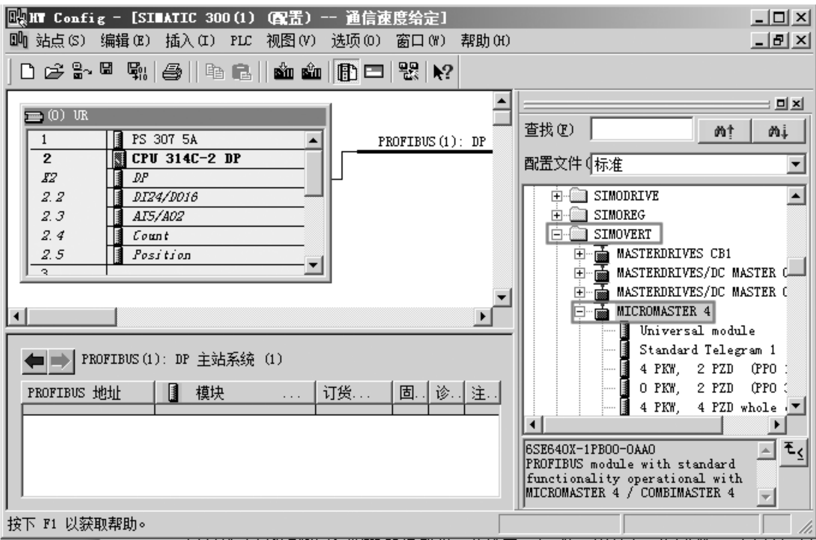


图 5-34 选中“MICROMASTER 4”

3）设置 MM440 的站地址。如图 5-35 所示，先选中“PROFIBUS（1）”网络，再将“Address”（地址）设置为“3”，最后单击“确定”按钮。



图 5-35 设置 MM440 的站地址

4）选择通信报文的结构。PROFIBUS 的通信报文由两部分组成，即 PKW（参数识别 ID 数据区）和 PZD 区（过程数据）。如图 5-36 所示，先选中“1”处，再双击“0 PKW，2 PZD（PPO3）”，“0 PKW，2 PZD（PPO3）”通信报文格式的含义是：报文中没有 PKW，只有 2 个字的 PZD。

5）MM440 的数据地址。如图 5-37 所示，S7-300（主站）发送到 MM440 的数据存放在 QB256 ~ QB259（共两个字）中，S7-300（主站）接收 MM440 的数据区在 IB256 ~ IB259（共两个字）。最后，编译并保存组态完成的硬件。

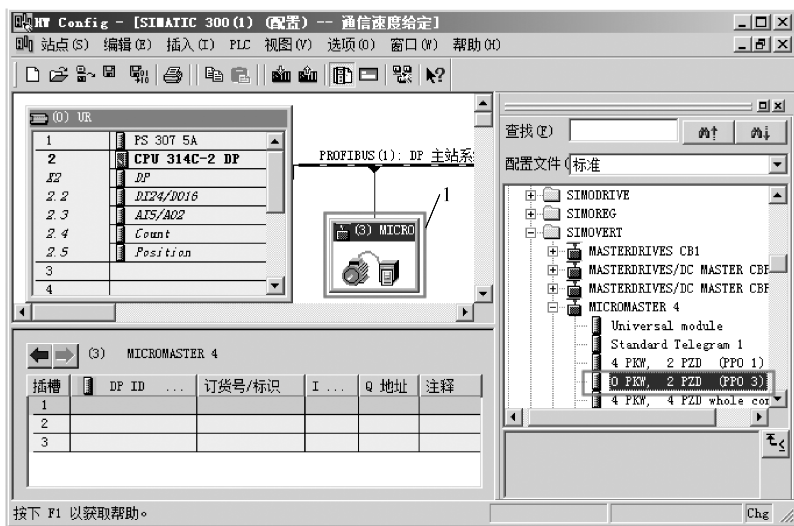


图 5-36　选择通信报文的结构

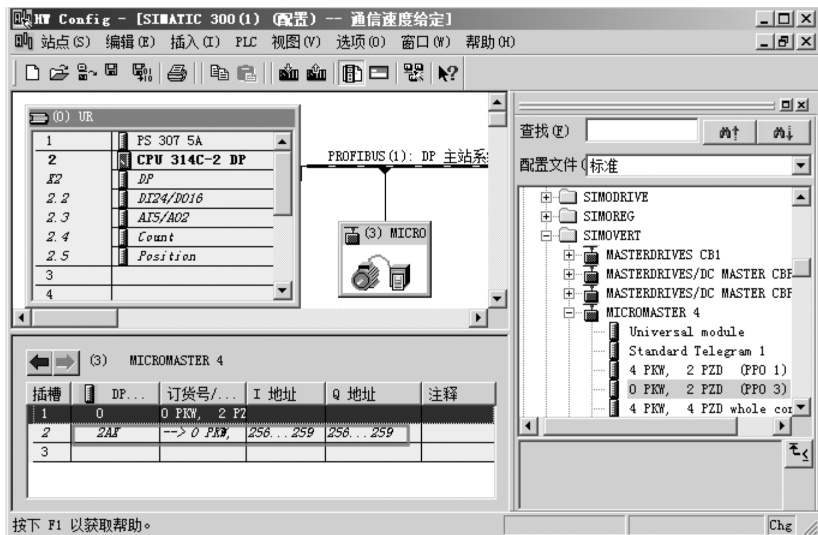


图 5-37　MM440 的数据地址

【关键点】“发送”和“接收”都是对主站而言的。

4. 编写程序

（1）任务报文 PZD 的介绍

任务报文的 PZD 区是为控制和检测变频器而设计的。PZD 的第一个字是变频器的控制字（STW）。变频器的 STW 控制字见表 5-22。

表 5-22　变频器的 STW 控制字

位	项目	含义
位 00	ON（斜坡上升）/OFF1（斜坡下降）	0 否，1 是
位 01	OFF2：按照惯性自由停车	0 是，1 否

（续）

位	项目	含义
位 02	OFF3：快速停车	0 是，1 否
位 03	脉冲使能	0 否，1 是
位 04	斜坡函数发生器（RFG）使能	0 否，1 是
位 05	RFG 开始	0 否，1 是
位 06	设定值使能	0 否，1 是
位 07	故障确认	0 否，1 是
位 08	正向点动	0 否，1 是
位 09	反向点动	0 否，1 是
位 10	由 PLC 进行控制	0 否，1 是
位 11	设定值反向	0 否，1 是
位 12	未使用	
位 13	用电动电位计 MOP 升速	0 否，1 是
位 14	用电动电位计 MOP 降速	0 否，1 是
位 15	本机/远程控制	0P7019 下标 0，1P7019 下标 1

PZD 的第二个字是变频器的主设定值（HSW），也是主频率设定值。有两种不同的设置方式，当 P2009 设置为 0 时，数值以十六进制形式发送，即 4000（hex）规格化为由 P2000（默认值为 50）设定的频率，4000 相当于 50 Hz。当 P2009 设置为 1 时，数值以十进制形式发送，即 4000（十进制）表示的频率为 40.00 Hz。

例如，当 P2009 = 0 时，任务报文为 PZD = 047F4000，第一个字的二进制为 0000，0100，0111，1111。这个字的含义是：斜坡上升；不是自由惯性停机；不是快速停车；脉冲使能；斜坡函数发生器（RFG）使能；RFG 开始；设定值使能；不确认故障；不是正向点动；不是反向点动；PLC 进行控制；设定值不反向；不用 MOP 升速和降速。第二个字的含义是：转速为 50 Hz。

（2）频率的计算方法

以下用一个例子介绍变频器通信时规格化频率的计算方法。

【例 5-10】 变频器通信时，需要对频率进行规格化，请计算 40 Hz 对应的规格化数值。

【解】

因为 50 Hz 对应的十六进制是 4000，而 16#4000 对应的十进制是 16384，所以 40 Hz 对应的十进制为

$$f=\frac{40.0}{50.0}\times 16384=13107.2\ (\text{Hz})$$

而 13107 对应的十六进制是 16#3333，所以设置时，应设置数值是 16#3333。

（3）应答报文 PZD 的介绍

应答报文 PZD 的第一个字是变频器的状态字（ZWS）。变频器的状态字通常由参数 r0052 定义。变频器的状态字（ZSW）含义见表 5-23。

表 5-23　变频器的状态字 ZSW

位	项目	含义
位 00	变频器准备	0 否，1 是
位 01	变频器运行准备就绪	0 否，1 是
位 02	变频器正在运行	0 否，1 是
位 03	变频器故障	0 是，1 否
位 04	OFF2 命令激活	0 是，1 否
位 05	OFF3 命令激活	0 否，1 是
位 06	禁止接通	0 否，1 是
位 07	变频器报警	0 否，1 是
位 08	设定值/实际偏差过大	0 是，1 否
位 09	过程数据监控	0 否，1 是
位 10	已经达到最大频率	0 否，1 是
位 11	电动机极限电流报警	0 是，1 否
位 12	电动机抱闸制动投入	0 是，1 否
位 13	电动机过载	0 是，1 否
位 14	电动机正向运行	0 否，1 是
位 15	变频器过载	0 是，1 否

应答报文的 PZD 第二个字是变频器的运行实际参数（HIW）。通常定义为变频器的实际输出频率。其数值也由 P2009 进行规格化。

（4）编写程序

编写程序如图 5-38 和图 5-39 所示。

程序段 1：标题：

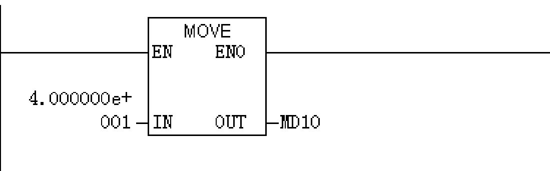


图 5-38　OB100 中的程序

程序段 1：标题：

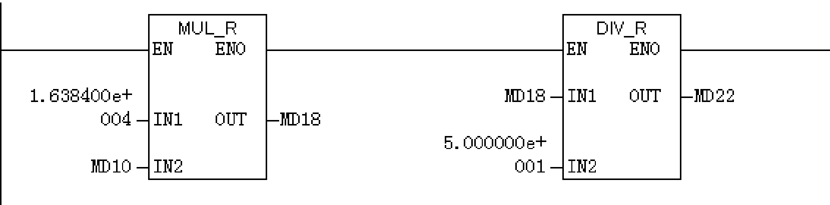
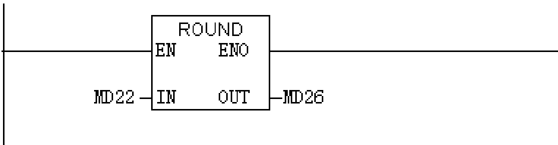


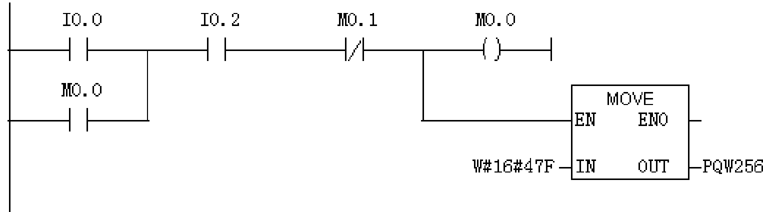
图 5-39　OB1 中的程序

程序段 2：标题：

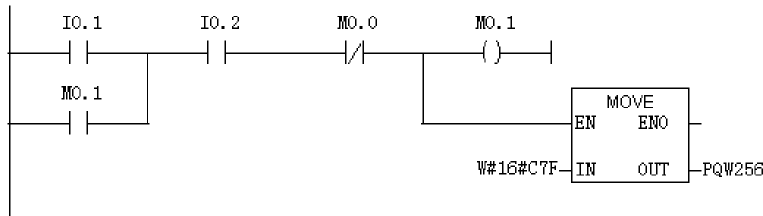
MW28中存放的就是规格化后的频率值



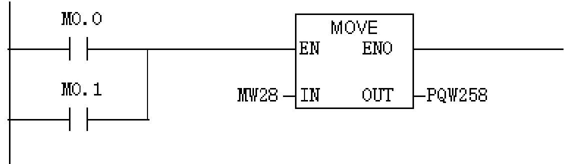
程序段 3：正转控制



程序段 4：反转控制



程序段 5：运行时，频率给定



程序段 6：停止时，频率给定和发送停止命令

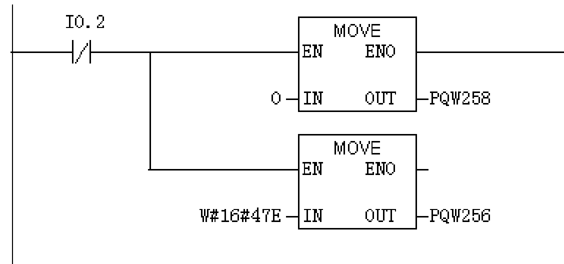


图 5-39　OB1 中的程序（续）

【关键点】理解任务报文和应答报文的各位的含义十分关键，否则很难编写出正确的程序。

5.4.4　S7-300 PLC 通过 PROFIBUS 现场总线修改 MM440 变频器的参数

S7-300 PLC 通过 PROFIBUS 现场总线通信修改变频器的参数，实际上就是 S7-300 PLC 和 MM440 变频器现场总线通信。以下用一个例子介绍 S7-300 PLC 通过 PROFIBUS 现场总线修改 MM440 变频器的参数。

【例 5-11】 利用一台 CPU314C-2DP 通过 PROFIBUS 现场总线通信修改 MM440 变频器的参数，将 P701 原有数值 1 修改成 2，请设计方案，并编写程序。

解：

1. 软硬件配置

① 1 套 STEP7 V5.5 SP3。

② 1 台 MM440 变频器（含 PROFIBUS 模板）。

③ 1 台 CPU314C-2DP。

④ 1 根 PROFIBUS 屏蔽双绞线。

⑤ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

硬件配置方案如图 5-40 所示。



图 5-40　硬件配置方案

2. 硬件组态

1）新建工程和 PROFIBUS 网络。如图 5-41 所示，将工程命名为“profibusWrite”。新建 PROFIBUS 网络，设置 CPU314C-2DP 的站地址为 2，选中如图 5-42 所示中“1”处的网络，展开“PROFIBUS DP”。

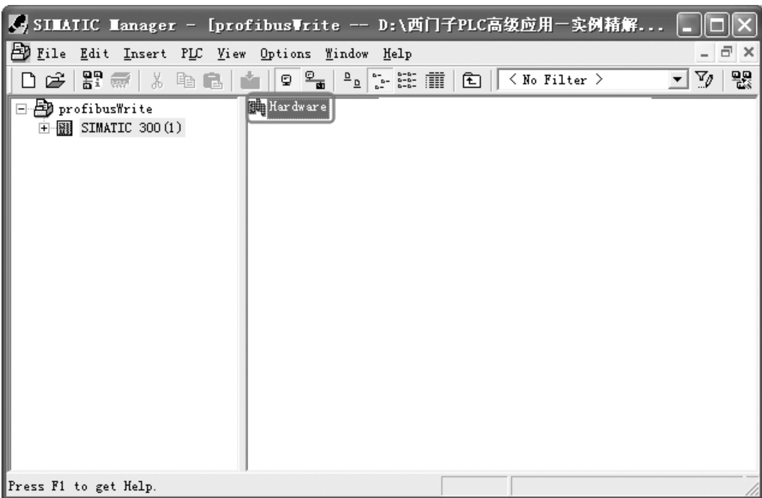


图 5-41　新建工程和 PROFIBUS 网络

2）选中“MICROMASTER 4”。如图 5-42 所示，先展开“SIMOVERT”，再选中“MICROMASTER 4”，并双击之，弹出如图 5-43 所示的界面。

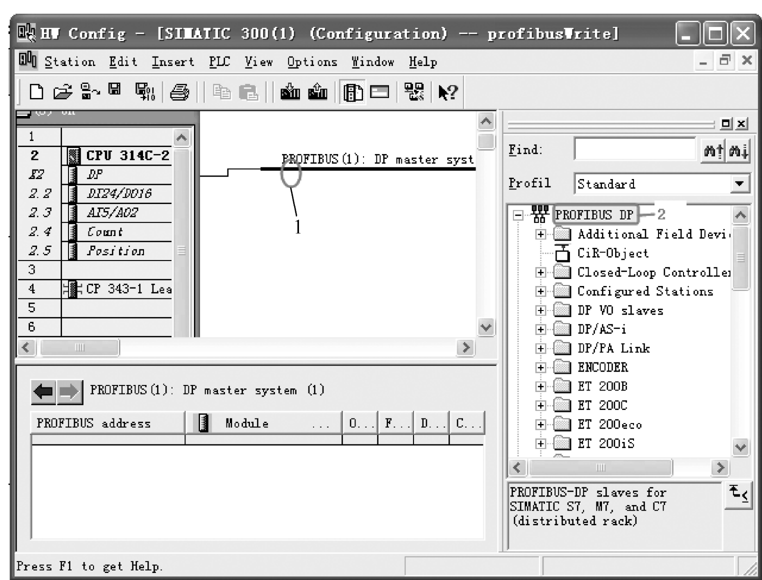


图 5-42　展开“PROFIBUS DP”

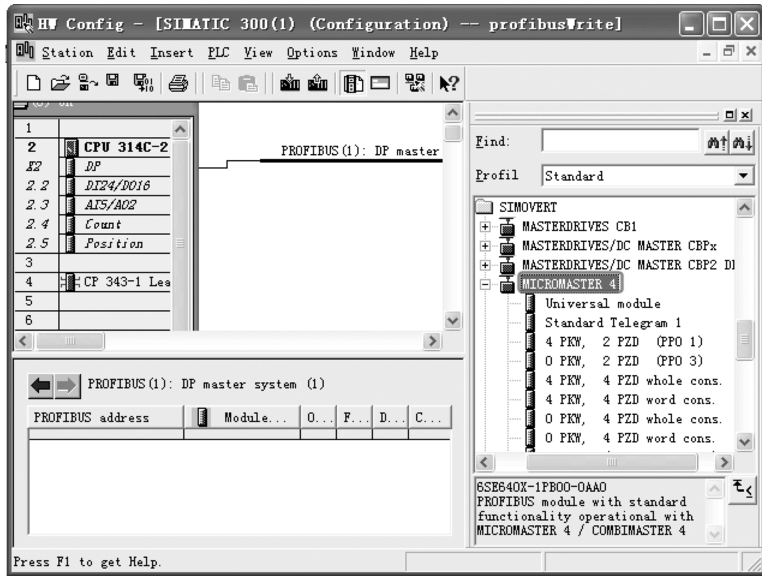


图 5-43　选中“MICROMASTER 4”

3）设置 MM440 的站地址。如图 5-44 所示，先选中“PROFIBUS（1）”网络，再将“Address”（地址）设置为 5，最后单击“OK”（确认）按钮。

4）选择通信报文的结构。PROFIBUS 的通信报文由两部分组成，即 PKW（参数识别 ID 数据区）和 PZD 区（过程数据）。如图 5-45 所示，先选中“1”处，再双击“4 PKW，2 PZD（PPO1）”，“4 PKW，2 PZD（PPO1）”通信报文格式的含义是报文中有 4 个字的 PKW，有 2 个字的 PZD。

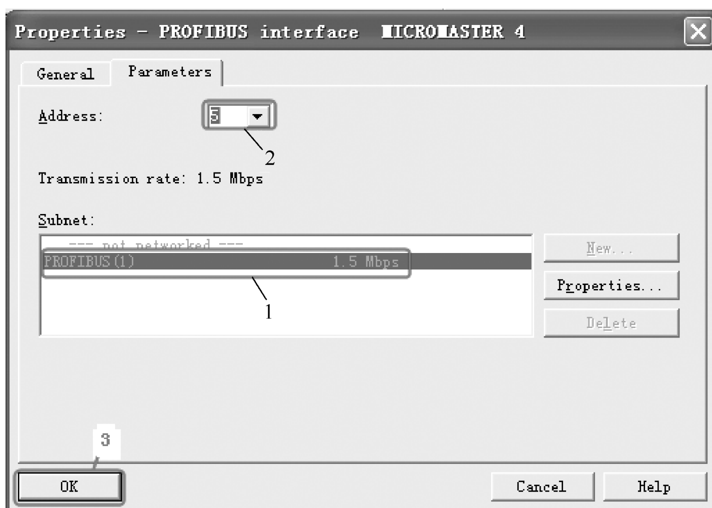


图 5-44　设置 MM440 的站地址

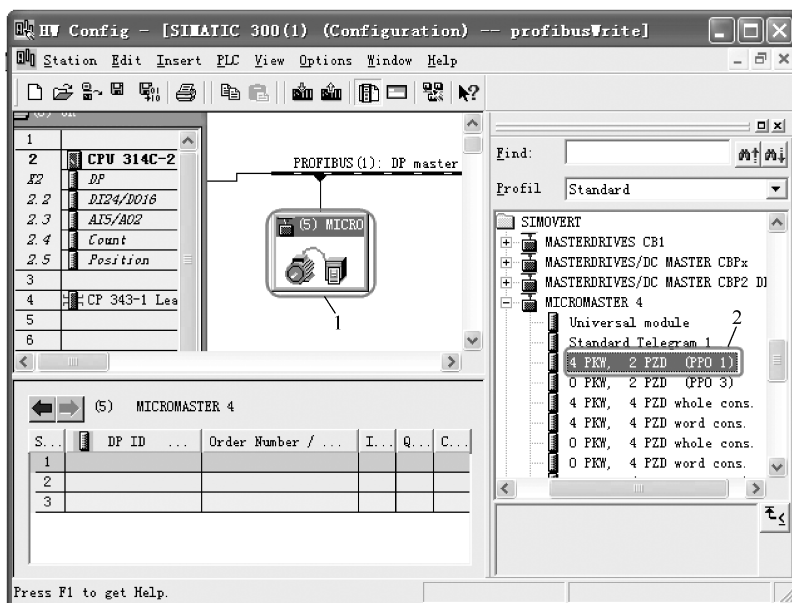


图 5-45　选择通信报文的结构

5）设置 MM440 的站内数据存储地址。如图 5-46 所示，MM440 接收主站的 PKW 数据存放在 IB256 ~ IB263（共四个字），MM440 发送反馈信息给主站的数据区 QB256 ~ QB263（共四个字）。而 MM440 接收主站的 PZD 数据存放在 IB264 ~ IB267（共两个字），MM440 发送反馈信息给主站的数据区 QB264 ~ QB267（共两个字）。

6）插入组织块、数据块和参数表。返回管理器界面，插入组织块 OB80、OB82、OB84、OB87、OB121 和 OB122，再插入数据块 DB1 和参数表 VAT_1，如图 5-47 所示。

7）在数据块中创建数组。双击如图 5-47 中的数据块“DB1”，创建数组“DB_VAR”，如图 5-48 所示。

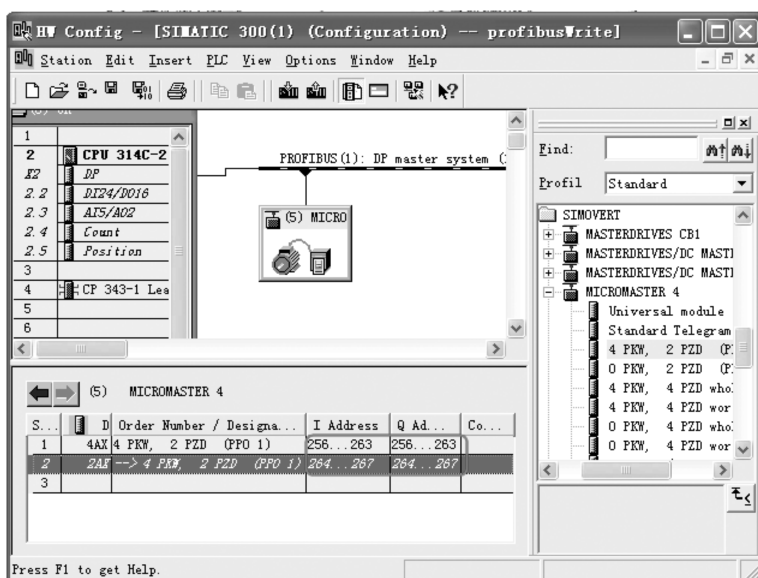


图 5-46　设置 MM440 的站内数据存储地址

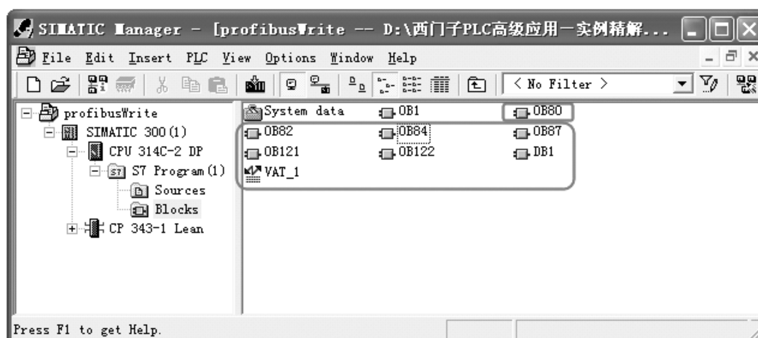


图 5-47　插入组织块、数据块和参数表

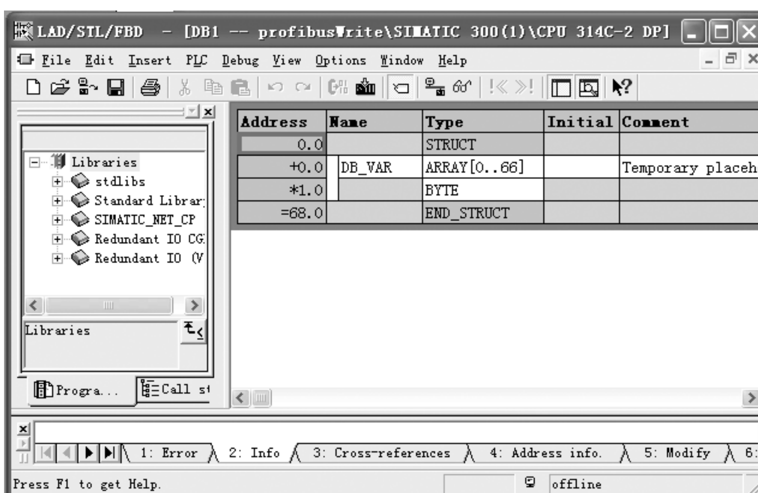
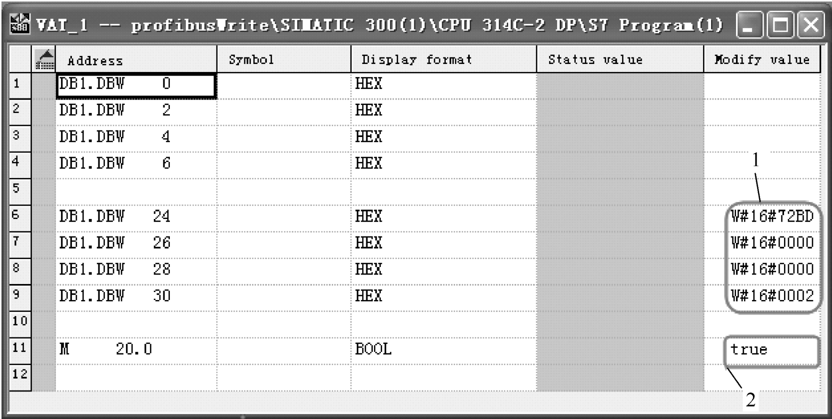


图 5-48　在数据块中创建数组

8）在参数表中输入 PKW 参数。双击图 5-47 中的参数表“VAT_1”，弹出参数表，如图 5-49 所示。“1”处的参数为写入 MM440 变频器的参数，“2”处的参数为向变频器读写参数的开关。


VAT_1 -- profibusWrite\SIMATIC 300(1)\CPU 314C-2 DP\S7 Program(1)

	Address	Symbol	Display format	Status value	Modify value
1	DB1.DBW 0		HEX		
2	DB1.DBW 2		HEX		
3	DB1.DBW 4		HEX		
4	DB1.DBW 6		HEX		
5					
6	DB1.DBW 24		HEX		W#16#72BD
7	DB1.DBW 26		HEX		W#16#0000
8	DB1.DBW 28		HEX		W#16#0000
9	DB1.DBW 30		HEX		W#16#0002
10					
11	M 20.0		BOOL		true
12					

图 5-49　在参数表中输入 PKW 参数

3. 相关指令简介

在组态接收和发送时，经常遇到“Consistency”（一致性），当选择“Unit”时，则以字节发送和接收数据。如果数据到达从站接收区不在同一时刻，从站可能不能在同一周期处理完接收区数据。如果需要从站必须在同一周期处理完这些数据，可选择“All”选项，编程时调用 DPWR_DAT 打包发送，从 DP 从站或者 PROFINET IO 设备上发送连续数据，调用 DPRD_DAT 解包接收，从 DP 从站或者 PROFINET IO 设备上接收连续数据。打包发送（DP-WR_DAT）的指令格式见表 5-24，打包接收（DPWR_DAT）的指令格式见表 5-25。

表 5-24　DPRD_DAT（SFC 14）指令格式

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
"DPRD_DAT" EN　ENO LADDR　RET_VAL RECORD	EN	使能	BOOL
	LADDR	对方数据起始地址，其实就是本地要接收的解包数据存放在对方的起始地址	WORD
	RET_VAL	返回值是错误代码	INT
	RECORD	接收解包数据后存放的地址	ANY

表 5-25　DPWR_DAT（SFC 15）指令格式

LAD	输入/输出	含　　义	数 据 类 型
"DPWR_DAT" EN　ENO LADDR　RET_VAL RECORD	EN	使能	BOOL
	LADDR	对方数据起始地址，其实就是对方要接收的数据存放的起始地址	WORD
	RET_VAL	返回值是错误代码	INT
	RECORD	本地要发送数据存放的地址	ANY

4. 编写程序

在编写程序前，需先对图 5-49 中参数表的含义进行解释。

1）W#16#72BD，PKW 的第一个字，即参数识别标记 ID，显然是用十六进制表示，“7”表示修改参数数值，此参数为数组、单字（见表 5-12、表 5-14 和表 5-17），“2BD”就是 701 的十六进制。

2）W#16#0000，PKW 的第二个字，即参数下标（见表 5-12 和表 5-13），显然 701 小于 2000，所以其下标为 0。

3）W#16#0000，PKW 的第三个字，第一个参数值（PWE1），为 0（见表 5-12）。

4）W#16#0002，PKW 的第四个字，第二个参数值（PWE2），为 2，是要修改的新数值（见表 5-13）。

5）通信梯形图程序如图 5-50 所示。

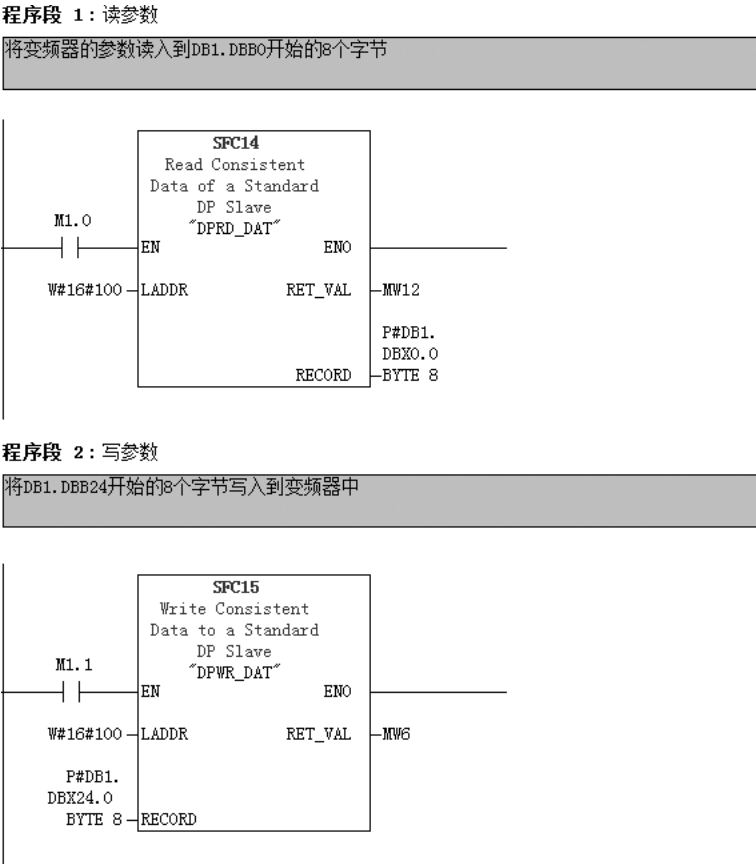


图 5-50　梯形图

【关键点】要编写正确的程序，首先要理解 PKW 各个字的含义，这是重点，同时也是难点；其次要理解 DPRD_DAT 和 DPWR_DAT 的用法，如图 5-50 所示的程序中“LADDR”前的“W#16#100”是用十六进制表示的，就是十进制的 256，与图 5-46 中的地址是对应，这点必须注意，否则通信是不能成功的。

第 6 章　西门子 S7-300/400 PLC 的故障诊断技术

本章介绍 PLC 的故障诊断的方法；重点介绍 S7-300/400 控制的故障诊断方法；最后介绍 30 个故障实例。

6.1　PLC 控制系统的故障诊断概述

PLC 是运行在工业环境中的控制器，一般而言可靠性比较高，出现故障的概率较低，但是，出现故障也是难以避免的。引发故障的原因有很多，故障的后果也有很多种。

引发故障的原因虽然不能完全控制，但是可以通过日常的检查和定期的维护来消除隐患，把故障率降到最低。故障的后果轻的可能造成设备的停机，影响生产的数量；重的可能造成财产损失和人员伤亡，如果是一些特殊的控制对象，一旦出现故障，可能会引发更严重的后果。

故障发生后，对于维护人员来说，最重要的是要及时找到故障的原因，迅速排除故障，尽快恢复系统的运行。对于系统设计人员来说，在设计时要考虑到系统出现故障后系统的自我保护措施，力争使故障的停机时间最短，故障产生的损失最小。

PLC 的故障主要有外部故障或内部错误。外部故障是由外部传感器或执行机构的故障等引发，可能会使整个系统停机，甚至烧坏 PLC。而内部错误是 PLC 内部的功能性错误或编成错误造成的，可以使系统停机。S7-300/400 PLC 具有很强的错误（或称故障）检测和处理能力，CPU 检测到某种错误后，操作系统调用对应的组织块，用户可以在组织块中编程，对发生的错误采取相应的措施。对于大多数错误，如果没有给组织块编程，出现错误时 CPU 将进入 STOP 模式。

6.1.1　引发 PLC 故障的外部因素

1. 外部电磁感应干扰

PLC 外部存在干扰源，通过辐射或者电源线侵入 PLC 内部，引发 PLC 误动作，造成 PLC 不能正常工作或者停机，严重时，甚至烧毁 PLC。常见的措施如下：

① PLC 周围有接触器等感性负载，可加冲击电压吸收装置，如 RC 灭弧器。

② 缩短输入和输出线的距离，并与动力线分开。

③ 模拟量、通信线等信号应采用屏蔽线。线路较长时，可以采用中继方式。

④ PLC 的接地端子不能和动力线混用接地。

⑤ PLC 的输入端可以接入滤波器，避免从输入端引入干扰。

2. 外部环境

外部环境会造成 PLC 的损毁。常见的措施如下：

① 对于振动大的设备，安装电柜需要加橡胶垫等防振垫。

② 潮湿、腐蚀和多尘的场合容易造成生锈、接触不良、绝缘性能降低和短路等故障，应使用密封控制柜。有时还要采用户外型电器等特殊电器。

③ 对于温度高场合，应加装排风扇，过高的场合则要加装空调。温度过低的场合还要加装加热器。

3. 电源异常

主要有缺相、电压波动、停电等，这些故障多半由风、雪和雷电造成。常见的措施如下：

① 直接起动电动机而造成回路电压下降，PLC 回路应尽量与其分离。

② PLC 的供电回路采用独立的供电回路。

③ 选用 UPS 供电电源，提高供电可靠性和供电质量。

4. 雷击、感应电

雷击、感应电形成的冲击电压有时也会造成 PLC 损毁。常见的措施如下：

① 在 PLC 的输入端加压敏电阻等吸收元件。

② 加装浪涌吸收器或者氧化锌避雷器。

6.1.2 PLC 的故障类型和故障信息

1. PLC 故障类型

PLC 控制系统的硬件包括电源模块、I/O 模块、现场输入/输出元器件以及一些导线、接线端子和接线盒。

PLC 控制系统的故障是 PLC 故障和外围故障的总和。外围故障也会造成 PLC 的故障。PLC 控制系统的故障也可分为软件故障和硬件故障，其中硬件故障占 80%。

PLC 控制系统的故障的分布：

- CPU 模块故障 5%。
- 单元故障 15%。
- 系统布线故障 5%。
- 输出设备故障 30%。
- 输入设备故障 45%。

控制系统故障 20% 由恶劣环境造成，80% 由用户使用不当造成。

2. PLC 控制系统故障的分布与分层

PLC 的外设故障占 95%，外设故障主要集中在继电器、接触器、接近开关、阀门、安全保护、接线盒、接线端子、螺纹连接、传感器、电源、电线和地线等处。

PLC 自身故障 5%，其中 90% 为 I/O 模块的故障，仅有 10% 是 CPU 模块的故障。首先将故障分为三个层次，第一层：是外部还是内部故障；第二层：是 I/O 模块还是控制器内部；第三层：是软件还是硬件故障。

（1）第一层

利用 PLC 输入、输出 LED 灯判断是否是第一层故障。

（2）第二层

利用上位监控系统判断第二层次的故障，例如：M0.0 是输入，显示为 ON，Q0.0 显示为 ON，表示输入和输出都有信号，但 PLC 无输出，则判断 PLC 的外围有故障。

（3）第三层

例如清空 PLC 中的程序，下一个最简单的程序到 PLC 中，如 PLC 正常运行则大致判断 PLC 正常。

3. PLC 控制系统最易发生故障的部分

（1）电源和通信系统

PLC 的电源是连续工作的，电压和电流的波动造成冲击不可避免，据 IBM 统计大约有 70% 以上的故障从本源上源自工作电源。

外部的干扰是造成通信故障的主要原因，此外经常插拔模块，印制电路板的老化和各种环境因素都会影响内部总线通信。

（2）PLC 的 I/O 端口

I/O 模块的损坏是 PLC 控制系统中较为常见的，减少 I/O 模块的损坏首先要正确设计外部电路，不可随意减少外部保护设备，其次对外部干扰因素进行有效隔离。

（3）现场设备

如继电器、传感器和接近开关等现场设备的损坏。

6.1.3 PLC 故障诊断方法

1. PLC 故障的分析方法

通常全局性的故障一般会在上位机上显示多处元件不正常，这通常是 CPU、存储器、通信模块和公共电源等发生故障。局部故障如下：

① 根据上位机的故障信息查找，准确而且及时。

② 根据动作顺序诊断故障，比较正常动作顺序和不正常现象，分析和发现可疑点。

③ 根据 PLC 的输入/输出口状态诊断故障。如果是 PLC 自身故障，则不必查看程序即可查询到故障。

④ 通过程序查找故障。

2. 电源故障的分析方法

PLC 的电源为 DC 24V，范围是 24 V ±5%，而 AC220V 范围是 220 V ±10%。

当主机接上电源，指示灯不亮，可能的原因分析：若拔出 +24 V 端子，指示灯亮，表明 DC 负载过大，这种情况，不要使用内部 24 V 电源；若拔出 +24 V 端子，指示灯不亮，则可能熔体已经烧毁，或者内部有断开的地方。

当主机接上电源，指示灯 POWER 闪亮，则 +24 V 和 COM 短路了。

BATT 灯亮表明锂电池寿命结束，要尽快更换电池。

3. PLC 电源的抗干扰

PLC 电源的抗干扰处理方法如下：

① 把控制器、I/O 电源和其他设备电源分别用不同的隔离变压器供电会更好。

② 控制器的 CPU 用一个开关电源，外部负载用一个开关电源。

PLC 电源抗干扰处理后的典型例子如图 6-1 所示。

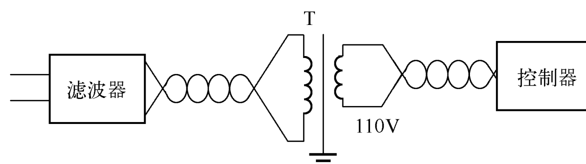


图 6-1　PLC 电源的抗干扰

6.1.4 PLC 外部故障诊断方法

1. 输入给 PLC 信号出错的原因

① 信号线的短路或者断路，主要原因是老化、拉扯、压砸、震动。

② 机械触头抖动。机械抖动压下一次，PLC 可能认为抖动了几次，硬件虽然加了滤波或者软件增加了微分，但由于 PLC 扫描周期短，仍然会影响计数、移位等。

③ 现场传感器、继电器等损坏。

2. 执行机构的出错的可能原因

① 输出负载没有可靠工作，如 PLC 已经发出信号，但继电器没有工作。

② PLC 自身故障，从而负载不动作。

③ 电动阀该动作没动作，或者没到位。

3. PLC 控制系统布线抗干扰措施

（1）电源的接线和接地

1）电源隔离器两端尽量采用双绞线或者屏蔽电缆；电源线和 I/O 线要尽量分开布置。

2）交流和直流线要分别使用不同的电缆，分开捆扎，最好分槽走线。

3）共同接地是传播干扰的常见错误。应将动力线的接地和控制接地分开，动力线的接地应接在地线上，PLC 的接地接在机柜壳体上。要保证 PLC 控制系统的接地线和动力线的屏蔽线尽量等电位。

（2）输入和输出布线

PLC 的输入线指外部传感器、按钮等与 PLC 的输入接口的接线。开关量信号一般采用普通电缆，如距离较远则要采用屏蔽电缆。高速信号和模拟量信号应采用屏蔽电缆。不同的信号线最好不要公用同一接插件，以减少相互干扰。

尽量减少配线回路的距离。输入和输出信号电缆穿入专用的电缆管，或在独立的线槽中敷设。当信号距离较远时，如 300 m，可采用中间继电器转接信号。通常布线要注意以下几点：

1）输入线的长度一般不长于 30 m。良好的工作环境，距离可以适当加长。

2）输入线和输出线不能使用同一电缆，应分开走线，开关量和模拟量要分开敷设。

3）输入线和输出回路配线时，多股线必须压接线端子或者单股线，多股线直接与 PLC 端子压接时，容易产生火花。

4. 外部故障排除方法的详细说明和处理

PLC 有很强的自诊断能力，当 PLC 自身故障或外围设备发生故障，都可用 PLC 上具有诊断指示功能的发光二极管的亮灭来诊断。

（1）故障查找

根据总体检查流程图找出故障点的大方向，逐渐细化，以找出具体故障，如图 6-2 所示。

（2）故障的处理

不同故障产生的原因不同，处理方法也所有不同，CPU 装置、I/O 扩展装置故障处理见表 6-1。

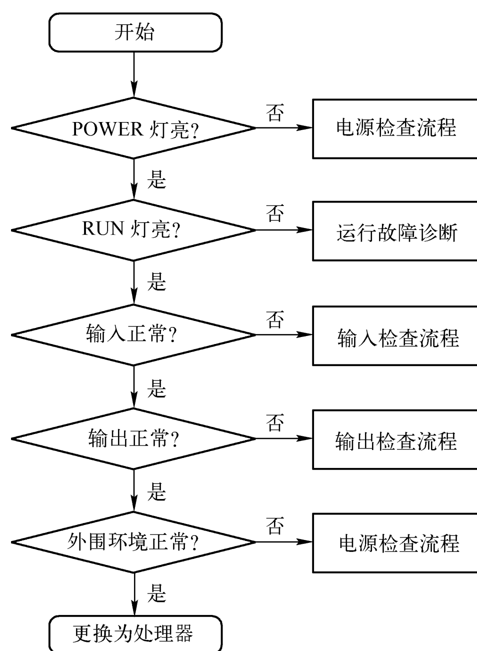


图 6-2　总体检查流程图

表 6-1　CPU 装置、I/O 扩展装置故障处理

序　号	异 常 现 象	可 能 原 因	处　　理
1	［POWER］LED 灯不亮	1. 电压切换端子设定不良 2. 熔丝熔断	正确设定切换端子 更换熔丝
2	保险丝多次熔断	1. 电压切换端子设定不良 2. 线路短路或烧坏	正确设定切换端子 更换电源单元
3	［RUN］LED 灯不亮	1. 程序错误 2. 电源线路不良 3. I/O 单元号重复 4. 远程 I/O 电源关，无终端电阻	修改程序 更换 CPU 单元 修改 I/O 单元号 接通电源
4	运行中输出端没闭合（［POWER］灯亮）	电源回路不良	更换 CPU 单元
5	编号以后的继电器不动作	I/O 总线不良	更换基板单元
6	特定的继电器编号的输出（入）接通	I/O 总线不良	更换基板单元
7	特定单元的所有继电器不接通	I/O 总线不良	更换基板单元

输入单元故障处理见表 6-2。

表 6-2　输入单元故障处理

序　　号	异 常 现 象	可 能 原 因	处　　理
1	输入全部不接通（动作指示灯不亮）	1. 未加外部输入电压	供电
		2. 外部输入电压低	加额定电源电压
		3. 端子螺钉松动	拧紧

（续）

序　号	异常现象	可能原因	处　理
1	输入全部不接通（动作指示灯不亮）		
		4. 端子板连接器接触不良	把端子板补充插入、锁紧。更换端子板连接器
2	输入全部断开（输入指示灯不亮）	输入回路不良	更换单元
3	输入全部不关断	输入回路不良	更换单元
4	16 特定继电器编号的输入不接通	1. 输入器件不良	更换输入器件
		2. 输入配线断线	检查输入配线
		3. 端子螺钉松动	拧紧
		4. 端子板连接器接触不良	把端子板补充插入、锁紧。更换端子板连接器
		5. 外部输入接触时间短	调整输入组件
		6. 输入回路不良	更换单元
		7. 程序的 OUT 指令中用了输入继电器编号	修改程序
5	特定继电器编号的输入不关断	1. 输入回路不良	更换组件
		2. 程序的 OUT 指令中用了输入继电器编号	修改程序
6	输入不规则 ON/OFF 动作	1. 外部输入电压低	使外部输入电压在额定值范围
		2. 噪声引起的误动作	抗干扰措施： 安装绝缘变压器、安装尖峰抑制器、用屏蔽线配线等
		3. 端子螺钉松动	拧紧
		4. 端子板连接器接触不良	把端子板补充插入、锁紧。更换端子板连接器
7	异常动作的继电器编号为 8 点单位	1. COM 端螺钉松动	拧紧
		2. 端子板连接器接触不良	把端子板补充插入、锁紧。更换端子板连接器
		3. CPU 不良	更换 CPU 单元
8	输入动作指示灯不亮（动作正常）	LED 灯坏	更换单元

输出单元故障处理见 6-3。

表 6-3　输出单元故障处理

序　号	异常现象	可能原因	处　理
1	输出全部不接通	1. 未加负载电源	加电源
		2. 负载电源电压低	使电源电压为额定值
		3. 端子螺钉松动	拧紧
		4. 端子板连接器接触不良	把端子板补充插入、锁紧。更换端子板连接器
		5. 熔丝熔断	更换熔丝

（续）

序　号	异常现象	可能原因	处　　理
1	输出全部不接通	6. I/O 总线接触不良	更换单元
		7. 输出回路不良	更换单元
		8. 输出点烧毁	更换输出模块
2	输出全部不关断	输出回路不良	更换单元
3	特定继电器编号的输出不接通（动作指示灯灭）	1. 输出接通时间短	更换单元
		2. 程序中指令的继电器编号重复	修改程序
		3. 输出回路不良	更换单元
4	特定继电器编号的输出不接通（动作指示灯亮）	1. 输出器件不良	更换输出器件
		2. 输出配线断线	检查输出线
		3. 端子螺钉松动	拧紧
		4. 端子连接接触不良	端子充分插入、拧紧
		5. 继电器输出不良	更换继电器
		6. 输出回路不良	更换单元
5	特定继电器编号的输出不关断（动作指示灯灭）	1. 输出继电器不良	更换继电器
		2. 由于漏电流或残余电压而不能关断	更换负载或加假负载电阻
6	特定继电器编号的输出不关断（动作指示灯亮）	1. 程序 OUT 指令的继电器编号重复	修改程序
		2. 输出回路不良	更换单元
7	输出出现不规则的 ON/OFF 现象	1. 电源电压低	调整电压
		2. 程序 OUT 指令的继电器编号重复	修改程序
		3. 噪声引起的误动作	抗噪声措施： 装抑制器、装绝缘变压器、用屏蔽线配线等
		4. 端子螺钉松动	拧紧
		5. 端子连接接触不良	端子充分插入、拧紧
8	异常动作的继电器编号为 8 点单位	1. COM 端子螺钉松动	拧紧
		2. 端子连接接触不良	端子充分插入、拧紧
		3. 熔丝熔断	更换熔丝
		4. CPU 不良	更换 CPU 单元
9	输出指示灯不亮（动作正常）	LED 灯坏	更换单元

6.2　S7-300/400 PLC 故障诊断技术

S7-300/400 PLC 有强大的故障诊功能，除了 6.1 中列举的故障诊断和处理方法外，还有自身的特色，以下将详细讲解。

6.2.1　使用状态和出错 LED 进行故障诊断

利用 CPU 面板上的指示灯可以进行初步的诊断，还可以使用 STEP7 软件的诊断功能进

行诊断，快速查找故障原因。

这种诊断方法简单、方便、直观，但是 LED 给出的故障信号可能很笼统，需要进一步使用其他诊断方法，例如，用 STEP7 的快速视图、诊断视图和模块信息进行诊断，才能获得具体、准确的诊断信息。如果控制系统的分布范围很宽，查看所有设备的 LED 也很费时费事。

1. 使用 S7-300 状态和出错 LED 进行故障诊断

S7-300 的指示灯与 CPU 的状态关系表见表 6-4。

表 6-4　S7-300 的指示灯与 CPU 状态关系

LED 状态（空白表示与此无关）					含　　义
SF	5VDC	FRCE	RUN	STOP	
关	关	关	关	关	CPU 无电源
关	开		关	开	CPU 处于 STOP 模式，正常状态
开	开		关	开	CPU 因错处于 STOP 模式
	开		关	闪烁（0.5 Hz）	CPU 请求存储器复位
	开		关	闪烁（2 Hz）	CPU 正在执行存储器复位
	开		闪烁（2 Hz）	开	CPU 正在处于起动状态
	开		闪烁（0.5 Hz）	开	CPU 被编程设备的断电命令暂停
开	开				硬件或者软件错误
		开			启用“强制” 功能
		闪烁（2 Hz）			激活了节点闪烁测试
闪烁	闪烁	闪烁	闪烁	闪烁	CPU

（1） SF 红色时可能的软件错误

1） 启用和触发了日期中断，但未装载日期中断组织块 OB10。

2） 用了 SFC32 触发延时中断，但是未装载延时中断组织块 OB20。

3） 触发了硬件中断，但是未装载组织块 OB40。

4） 调用了太多的 OB 块，超出了循环时间（默认为 150 ms）。

5） 编程错误。未加载块、定时器等的编号错误。

6） I/O 访问错误。

（2） SF 红色时可能的硬件错误

1） 系统正常运行时，卸下或者插入模块（S7300 不支持热插拔）。

2） 系统正常运行时，在 DP 总线上接入或者取下分布式模块。

3） 系统正常运行时，在 PROFINET 总线上接入或者取下分布式模块。

4） MMC 卡故障。

5） 模块松动时，导致不能识别硬件。

（3） BF 常亮时的故障及其解决方案

1） 总线故障。

2） DP 接口故障。

3）多个站点有不同的波特率。

4）总线短路。

（4）BF 闪亮时的故障及其解决方案

1）主站可能的错误：组态错误、连接站有故障、无法访问至少一个从站。要检查从站是否连接到主站，总线是否有断开。

2）从站可能的错误：总线连接器是否连接正确，总线是否断路。

2. 使用 S7-400 状态和出错 LED 进行故障诊断

S7-400 的指示灯与 CPU 状态关系见表 6-5。

表 6-5　S7-400 的指示灯与 CPU 状态关系

序号	指示灯	颜色	说明
1	INTF	红色	内部故障，例如程序运行超时
2	EXTF	红色	外部故障，例如电源或者模块故障
3	FRCE	黄色	输入、输出有强制
4	RUN	绿色	运行模式
5	STOP	黄色	停止模式
6	CRST	黄色	完全复位
7	BUS1F	红色	1 号通信口（MPI/DP）的总线故障
8	BUS2F	红色	2 号通信口（DP）的总线故障
9	BUS5F	红色	PROFINET 接口的总线故障，组态了 PROFINET IO 系统但未进行连接
10	IFM1F	红色	存储器子模块 1 故障
11	IFM2F	红色	存储器子模块 2 故障

（1）INTF 红色时可能的故障

1）超时错误（超过最大的循环时间），出错时一般调用 OB80。

2）CPU 硬件错误。如 MPI 接口故障、分布式 IO 故障时，或者故障消失时，调用 OB84 模块。

3）通信错误，当接收全局数据时，检测到错误的标识符 I（4）、帧长度错误、数据块不存在等，调用 OB84。

4）编程错误，调用 OB121。

5）块的调用嵌套深度过大，调用 OB88。

（2）EXTF 红色时可能的故障

1）I/O 访问错误，可能是模块故障，或者 CPU 不能识别 I/O 地址，调用 OB122。

2）电源故障的出现或者消失。备用电池失效或者未安装，24V 电源故障。

3）插入或者拔出模块。S7-400 允许带电热插拔，调用 OB83。

4）优先级错误。

5）机架/站故障。扩展机架故障或者远程 IO 故障，调用 OB86。

3. 用 DP 从站的 LED（以 IM153-2 为例）进行故障诊断

DP 从站的 LED（IM153-2）在工程中使用普遍，DP 从站的 LED 及其含义见表 6-6。

表 6-6　IM153-2 的指示灯与 CPU 状态关系

序号	指 示 灯	颜　　色	说　　明
1	ON	绿色	供电正常
2	SF	红色	组织错误
3	BF	红色	DP 故障
4	ACT	黄色	冗余模式中的主动模式

各灯的状态的含义见表 6-7。

表 6-7　IM153-2 的指示灯状态组合含义表

SF	BF	ACT	ON	含　　义	措　　施
灭	灭	灭	灭	IM153-2 没有通电，或者模块故障	接通电源或者更换模块
无关	无关	无关	亮	IM153-2 通电，运行状态	
亮	亮	亮	亮	通电后正在硬件测试	
亮	0.5 Hz 闪亮	灭	灭	外部故障，使用了不适合操作系统的 MMC 卡	换 MMC 卡
亮	0.5 Hz 闪亮	灭	灭	内部故障，写入更新文件时的错误	重新更新。可能存储器损坏
无关	闪烁	灭	亮	模块为正确组态，主站和从站之间没有数据交换，可能地址不正确，总线错误	检查组态和参数，电缆长度，中断电阻，波特率等
无关	亮	灭	亮	DP 主站和模块无连接。总线通信已中断	检查总线连接器是否安装正确，电缆是否连接断开。断开 24 V 电源，重新接通
亮	闪烁	灭	亮	组态的 ET200 与实际的 ET200 不一致	更改组态，重新下载
亮	灭	灭	亮	无效的 DP 地址	检查 DP 地址
无关	灭	亮	亮	IM153-2 正在与 DP 主站和 ET200 的 IO 交换数据	
无关	灭	灭	亮	电压已经供给 IM153-2	
0.5 Hz 闪亮	灭	灭	亮	在冗余模式，IM153-2 是被动模块	
闪烁	闪烁	闪烁	闪烁	当前运行模式的 IM153-2 与冗余 IM153-2 不兼容	

6.2.2　用 STEP7 快速视图进行故障诊断

S7-300/400 PLC 具有非常强大的故障诊断功能，通过 STEP 7 编程软件可以获得大量的硬件故障与编程错误的信息，使用户能迅速地查找到故障。

这里的诊断是指 S7-300 PLC 内部集成的错误识别和记录功能，错误信息在 CPU 的诊断缓冲区内。有错误或事件发生时，标有日期和时间的信息被保存到诊断缓冲区，时间保存到系统的状态表中，如果用户已对有关的错误处理组织块编程，CPU 将调用该组织块。

1. 故障诊断的基本方法

在 SIMATIC 管理器中用菜单命令“查看（View）”→“在线（Onlin（5）”打开在线窗

口。打开所有的站，查看是否有 CPU 显示了指示错误或故障的诊断符号。

诊断符号用来形象直观地表示模块的运行模式和模块的故障状态，如图 6-3 所示。如果模块有诊断信息，在模块符号上将会增加一个诊断符号，或者模块符号的对比度降低。



图 6-3　诊断符号

诊断符号“当前组态与实际组态不匹配”表示被组态的模块不存在，或者插入了与组态的模块型号不同的模块。

诊断符号“无法诊断”表示无线上连接，或该模块不支持模块诊断信息，例如电源模块或子模块。

“强制”符号表示在该模块上有变量被强制，即在模块的用户程序中有变量被赋予一个固定值，该数据值不能被程序改变。“强制”符号可以与其他符号组合在一起显示，如图 6-3 中“强制”与“运行”符号。

从在线的 SIMATIC 管理器的窗口、在线的硬件诊断功能打开的快速窗口和在线的硬件组态窗口（诊断窗口），都可以观察到诊断符号。

通过观察诊断符号，可以判断 CPU 模块的运行模式，是否有强制变量，CPU 模块和功能模块（FM）是否有故障。

打开在线窗口，在 SIMATIC 管理器中执行菜单命令“PLC”→“诊断/设置”→“硬件诊断”，将打开硬件诊断快速浏览窗口。在该窗口中显示 PLC 的状态，看到诊断功能的模块的硬件故障，双击故障模块可以获得详细的故障信息。

2. 利用 CPU 诊断缓冲区进行详细故障诊断

建立与 PLC 的在线连接后，在 SIMATIC 管理器中选择要检查的站，执行菜单命令“PLC”→“诊断/设置”→“模块信息”，如图 6-4 所示，将打开模块信息窗口，显示该站中 CPU 的信息。在快速窗口中使用“模块信息”。



图 6-4　打开 CPU 诊断缓冲区

在模块信息窗口中的诊断缓冲区（Diagnostic Buffer）选项中，给出了 CPU 中发生的事件一览表，选中“事件”窗口中某一行的某一事件，下面灰色的“关于事件的详细资料”窗口将显示所选事件的详细信息，如图 6-5 所示。使用诊断缓冲区可以对系统的错误进行分析，查找停机的原因，并对出现的诊断事件分类。



图 6-5 CPU 模块的在线模块信息窗

3. 用 STEP7 快速视图进行故障诊断的举例

（1）存储卡故障

在 SIMATIC Manager 界面，单击“PLC”→“诊断/设置”→“硬件诊断”，如图 6-6 所示。



图 6-6 硬件诊断 - 快速查看

在硬件诊断界面中，单击“模块信息”按钮，弹出如图 6-7 所示界面，显示模块是正常的。

在“诊断缓冲区”选项卡中，可以看到是编程错误，经过仔细核对编程正确，而实际

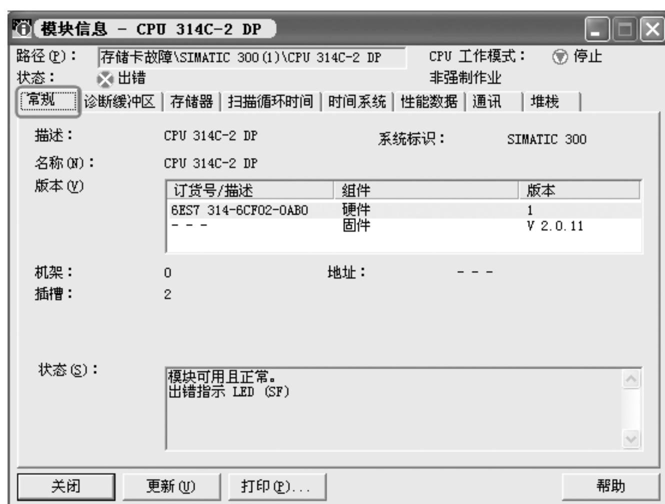


图 6-7　模块信息 - 常规

是存储卡故障，如图 6-8 所示。换新的存储卡后，重新下载程序后正常，如果 MMC 卡没有插好，也会显示此故障。

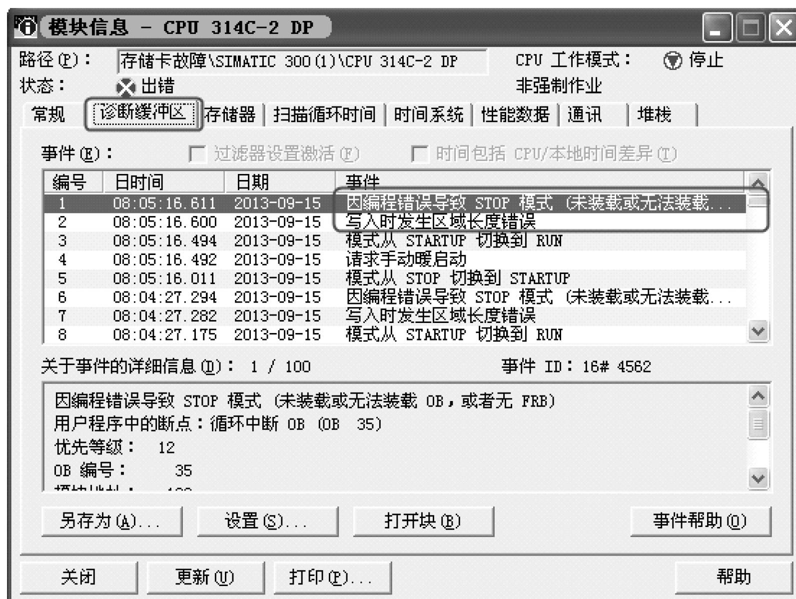


图 6-8　模块信息 - 诊断缓冲区

（2）未装载 FC

在“诊断缓冲区”选项卡中，可以看到是编程错误，存储卡正常，缓冲区明确指出未装载 FC，如图 6-9 所示。

经过仔细核对，操作者编写如图 6-10 所示的梯形图程序，的确未下载功能 FC1，但在主程序中又调用了 FC1，因而出错。

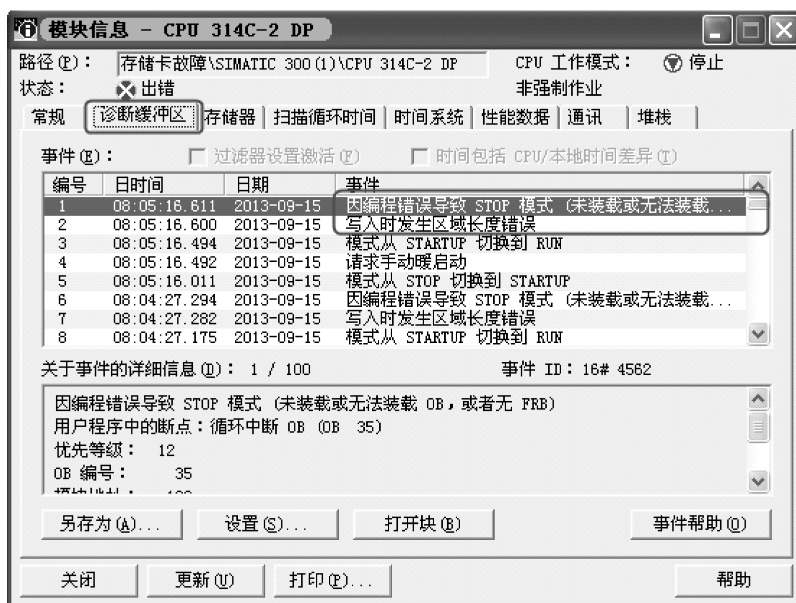
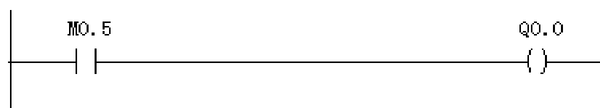


图 6-9　模块信息 - 诊断缓冲区

程序段 1：标题：



程序段 2：标题：

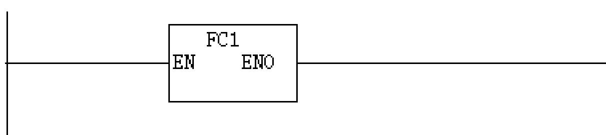


图 6-10　梯形图

（3）硬件组态和实际配置的不一致

在 SIMATIC Manager 界面，单击“PLC”→“诊断/设置”→“硬件诊断”。可以看到 DP 从站上有个红色斜线，从站故障的标志。接着弹出信息表示“插入模块和组态的不完全相同”，如图 6-11 所示。

在“DP 从站诊断”选项卡中显示详细的信息 - 5 号插槽故障，如图 6-12 所示。

单击“十六进制格式”按钮，弹出故障代码信息，如图 6-13 所示，这个信息与不同的从站设备型号有关，需要查阅相关的手册。后续会讲到。

（4）PROFIBUS 从站断电

在 SIMATIC Manager 界面，单击“PLC”→“诊断/设置”→“硬件诊断”。可以看到 DP 从站上有个红色斜线，这可能是掉站的标志，如图 6-14 所示。



图 6-11　硬件诊断 - 快速查看



图 6-12　模块信息 - DP 从站

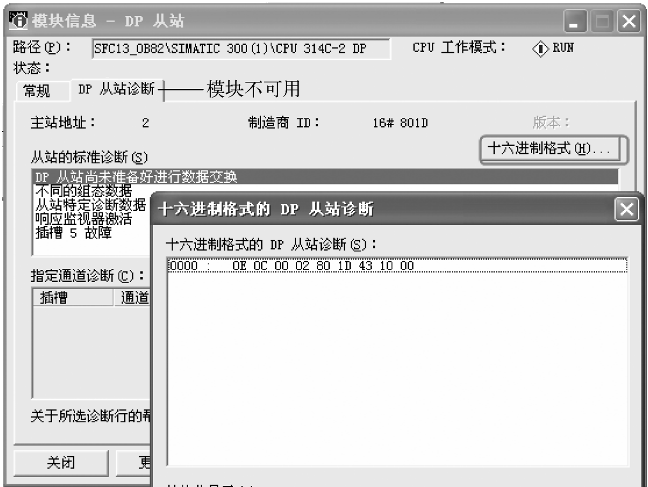


图 6-13　模块信息 - DP 从站



图 6-14　硬件诊断－快速查看

查看“诊断缓冲区”，可以看到分布式 I/O 故障，即从站出了问题，如图 6-15 所示。



图 6-15　模块信息－诊断缓冲区

查看“DP 从站诊断”，可以看到的确是从站不能访问总线，如图 6-16 所示。



图 6-16　模块信息－DP 从站

也可以在硬件组态界面中查看故障站点，方法如下：

在 SIMATIC 管理器中单击“在线”按钮，再双击“硬件”，打开硬件组态界面，即可诊断，如图 6-17 所示。也可以在硬件组态界面中直接单击“在线”按钮。很明显 3 号站出现了问题。

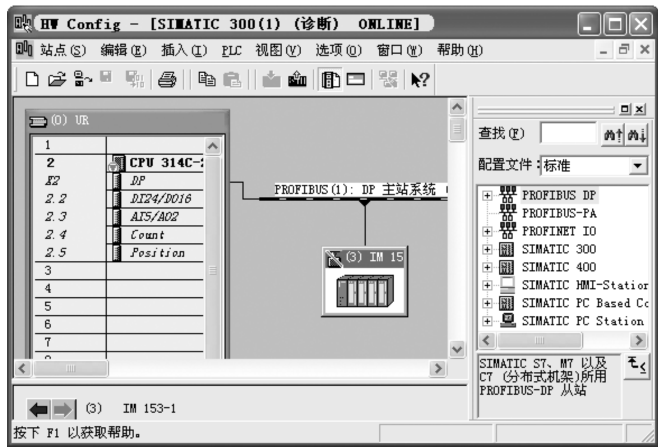


图 6-17　硬件组态界面中查看故障站点

6.2.3　用通信块（如 SFB15）的输出参数/返回值（RET_VAL）诊断故障

利用输出参数诊断故障，梯形图如图 6-18 所示，当 M30.0 = 1，表示有错误。例如，当 MW40 = 1 表示通信错误，MW40 = 25 表示通信已起动，正在处理，其余的可以查表格，见表 6-8。

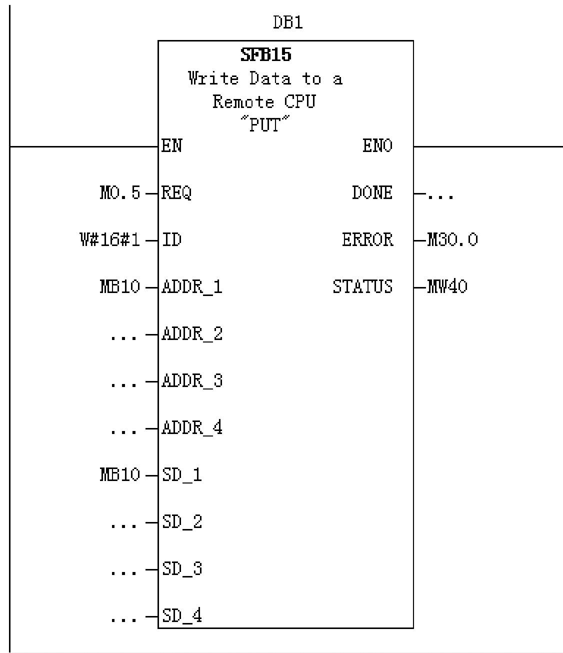


图 6-18　梯形图

表 6-8　故障信息表

序　号	ERROR	STATUS（十进制）	含　　义
1	0	11	警告： ● 由于前一个作业还没有结束，所以不能执行新作业 ● 正在以较低优先级处理此作业
2	0	25	通信已经启动。作业正在处理
3	1	1	通信故障 ● 没有装载连接描述（本地或远程） ● 连接被中断（例如：电缆断线、CPU 关闭、或 CP 处于 STOP 模式） ● 没有建立到通信伙伴的连接 ● FB 无法在 S7-400 CPU 上运行 ● 此外对于 S7-300，超出并行作业/背景的最大数目
4	1	2	来自伙伴设备的否定确认。无法执行该函数

6.2.4　用组织块的故障诊断

1. 组织块简介

（1）错误处理组织块

组织块是操作系统与用户程序之间的接口。S7 提供了各种不同的组织块，用组织块可以创建在特定时间执行的程序和响应特定事件的程序。

系统程序可以检测下列错误：不正确的 CPU 功能、系统程序执行中的错误、用户程序中的错误和 I/O 中的错误。根据错误类型的不同，CPU 进入 STOP 模式或调用一个错误，处理对应 OB 块。

当 CPU 检测到错误时，会调用适当的组织块，见表 6-9。如果没有相应的错误处理 OB，CPU 将进入 STOP 模式。用户可以在错误处理 OB 中编写如何处理这种错误的程序，以减小或消除错误的影响。

表 6-9　错误处理组织块

OB 号	错 误 类 型	优　先　级
OB70	I/O 冗余错误（仅 H 系列 CPU）	25
OB72	CPU 冗余错误（仅 H 系列 CPU）	28
OB73	通信冗余错误（仅 H 系列 CPU）	35
OB80	时间错误	26
OB81	电源错误	26/28
OB82	诊断中断	
OB83	插入/取出模块中断	
OB84	CPU 硬件故障	
OB85	优先级错误	
OB86	机架故障或分布式 I/O 的站故障	
OB87	通信错误	
OB121	编程错误	引起错误的 OB 的优先级
OB122	I/O 访问错误	

为避免发生某种错误时 CPU 停机，可以在 CPU 中建立一个对应的空的组织块。用户可以利用 OB 中的变量声明表提供的信息来判别错误的类型。

根据 S7 CPU 检测到可处理的错误分为异步错误和同步错误。

（2）异步错误组织块

异步错误是与 PLC 的硬件或操作系统密切相关的错误，与程序执行无关。异步错误的后果一般都比较严重。异步错误对应的组织块为 OB70 ~ OB73 和 OB80 ~ OB87，有最高的优先级。操作系统检测到一个异步错误时，将启动相应的 OB。

1）时间错误处理组织块（OB80）。OB 执行时出现故障 S7-300 CPU 的操作系统调用 OB80。这样的故障包括循环时间超出、执行 OB 时应答故障、向前移动时间以致于跃过了 OB 启动的时间、CLR 后恢复 RUN 方式。

如果当循环中断 OB 仍在执行前一次调用时，该 OB 块的启动事件发生，操作系统调用 OB80。如果 OB80 未编程，CPU 变为 STOP 方式，可以使用 SFC39 ~ SFC42 封锁或延时或再使用时间故障 OB80。

如果在同一个扫描周期中由于扫描时间超出 OB80 被调用两次，CPU 就变为 STOP 方式，可以通过在程序中适当的位置调用 SFC43“RE_ TRIGR”来避免这种情况。

打开 OB80，可以从 OB80 的临时变量中得到故障信息，如图 6-19 所示。OB80 的变量申明表见表 6-10（节选）。

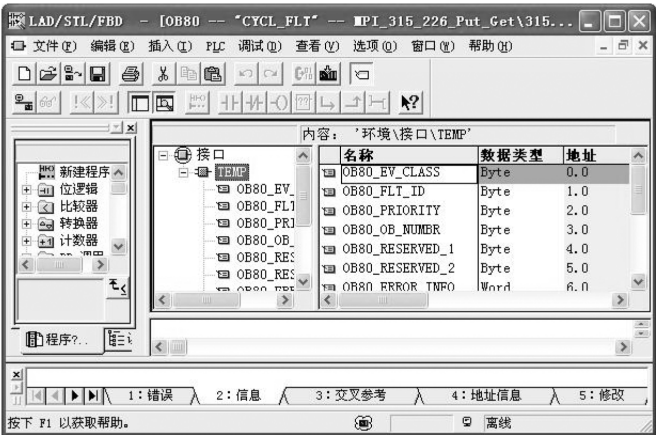


图 6-19 OB80 的临时变量

表 6-10 OB80 的变量申明表

变 量	类 型	描 述
OB80_EV_CLASS	BYTE	事件级别和标识：B#16#35
OB80_FLT_ID	BYTE	故障代码
OB80_ERROR_INFO	WORD	故障信息：根据故障代码
OB80_ERR_EV_CLASS	BYTE	引起故障的启动事件的事件级别
OB80_ERR_EV_NUM	BYTE	引起故障的启动事件的事件号
OB80_OB_PRIORITY	BYTE	故障信息：根据故障代码

2）电源故障处理组织块（OB81）。与电源（仅对 S7-400）或后备电池有关的故障事件发生时，S7-300 CPU 的操作系统调用 OB81，表 6-11（节选）为 OB81 的变量申明表。

表 6-11　OB81 的变量申明表

变　　量	类　　型	描　　述
OB81_EV_CLASS	BYTE	事件级别和标识：B#16#38，离去事件；B#16#39，到来事件
OB81_FLT_ID	BYTE	故障代码
OB81_MDL_ADDR	INT	位 0～2：机架号；位 3：0 = 备用 CPU，1 = 主站 CPU；位 4～7：1111
OB81_DATE_TIME	DATE_AND_TIME	OB 被调用时的日期和时间

如果 OB81 未编程，CPU 并不转换为 STOP 方式。可以使用 SFC39～42 来禁用、延时或再使用电源故障（OB81）。

3）诊断中断处理组织块（OB82）。如果模块具有诊断能力又使能了诊断中断，当它检测到错误时，会输出一个诊断中断请求给 CPU，操作系统调用 OB82；当错误消失时，操作系统都会调用 OB82。当一个诊断中断被触发时，有问题的模块自动地在诊断中断 OB 的起动信息和诊断缓冲区中存入 4 个字节的诊断数据和模块的起始地址。可以用 SFC39～42 来禁用、延时或再使用诊断中断（OB82），表 6-12 描述了诊断中断 OB82 的临时变量。

表 6-12　OB82 的变量申明表

变　　量	类　　型	描　　述
OB82_EV_CLASS	BYTE	事件级别和标识：B#16#38，离去事件；B#16#39，到来事件
OB82_FLT_ID	BYTE	故障代码
OB82_IO_FLAG	BYTE	输入模板：B#16#54；输出模板：B#16#55
OB82_MDL_ADDR	WORD	故障发生处模板的逻辑起始地址
OB82_MDL_DEFECT	BOOL	模板故障
OB82_INT_FAULT	BOOL	内部故障
OB82_EXT_FAULT	BOOL	外部故障
OB82_PNT_INFO	BOOL	通道故障
OB82_NO_CONFIG	BOOL	模板未组态
OB82_CONFIG_ERR	BOOL	模板参数不正确
OB82_MDL_TYPE	BYTE	位 0～3：模板级别；位 4：通道信息存在；位 5：用户信息存在；位 6：来自替代的诊断中断；位 7：备用
OB82_RACK_FLT	BOOL	扩展机架故障
OB82_PROC_FLT	BOOL	处理器故障
OB82_EPROM_FLT	BOOL	EPROM 故障

4）CPU 硬件故障处理组织块（OB84）。当 CPU 检测到 MPI 网络的接口故障、通信总线的接口故障或分布式 I/O 网卡的接口故障时，操作系统调用 OB84。故障消除时也会调用该 OB 块，即事件到来和离去时都调用该 OB。表 6-13（节选）描述了 CPU 硬件故障 OB84 的临时变量。

表 6-13　OB84 的变量申明表

变　　量	类　　型	描　　述
OB84_EV_CLASS	BYTE	事件级别和标识：B#16#38，离去事件；B#16#39，到来事件
OB84_FLT_ID	BYTE	故障代码
OB84_DATE_TIME	DATE_AND_TIME	OB 被调用时的日期和时间

5）机架故障组织块（OB86）。出现下列故障或故障消失时，都会触发机架故障中断，操作系统将调用 OB86：扩展机架故障、DP 主站系统故障或分布式 I/O 故障。故障产生和故障消失时都会产生中断。

在编写 OB86 的程序时，应根据 OB86 的起动信息，判断是哪个机架损坏或找不到。可以使用 SFC39～42 封锁或延时并使能 OB86，表 6-14 描述了机架故障 OB86 的临时变量。

表 6-14　OB86 的变量申明表

变　　量	类　　型	描　　述
OB86_EV_CLASS	BYTE	事件级别和标识：B#16#38，离去事件；B#16#39，到来事件
OB86_FLT_ID	BYTE	故障代码
OB86_MDL_ADDR	WORD	根据故障代码
OB86_RACKS_FLTD	ARRAY[0..31]	根据故障代码
OB86_DATE_TIME	DATE_AND_TIME	OB 被调用时的日期和时间

2. 用组织块的故障诊断举例

【例 6-1】 控制系统为 S7-300、ET200、SM323 和 SM332，SM332 输出电压信号，如果电压信号断线时，能通过 STEP7 的参数表查看到故障信号的通道，要求用 OB82 实现此功能。

【解】

（1）硬件组态过程

首先按照如图 6-20 所示进行组态，双击“AO2＊12bIT”，弹出如图 6-21 所示的界面，在“输出”选项卡中，勾选“组诊断”和“诊断中断”，最后单击“确定”按钮。

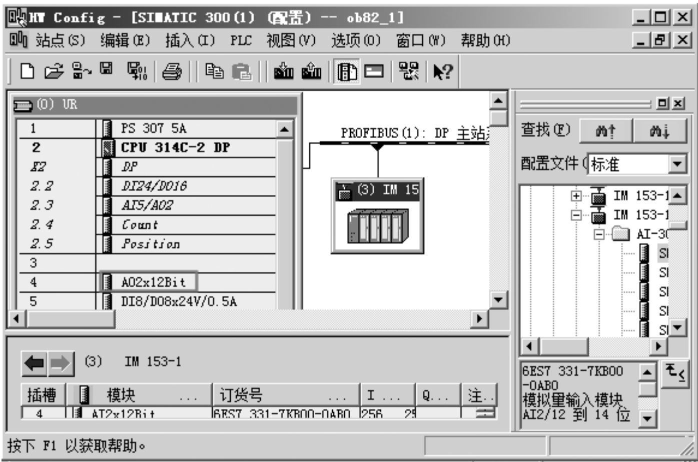


图 6-20　硬件组态（1）



图 6-21　硬件组态（2）

（2）创建数据块

创建数据块 DB1，并在 DB1 中创建一个数组 ary[0..20]，数组的容量为 21 个字节，如图 6-22 所示。



图 6-22　创建的数组

（3）创建变量表

创建变量表 VAT_1，并把需要监控的参数输入变量表，如图 6-23 所示，利用这个变量可以监控到故障信息。



图 6-23　创建变量表

（4）编写梯形图程序

在 OB82 中编写梯形图程序，如图 6-24 所示。由于 S7-300/400 PLC 有很强的自诊断功

能，故障信息自动赋值给 OB82 的参数。程序的作用实际就是将 OB82 的所有参数信息传送到数组 DB1. ary 中，这样故障信息就可以在参数表中显示了。

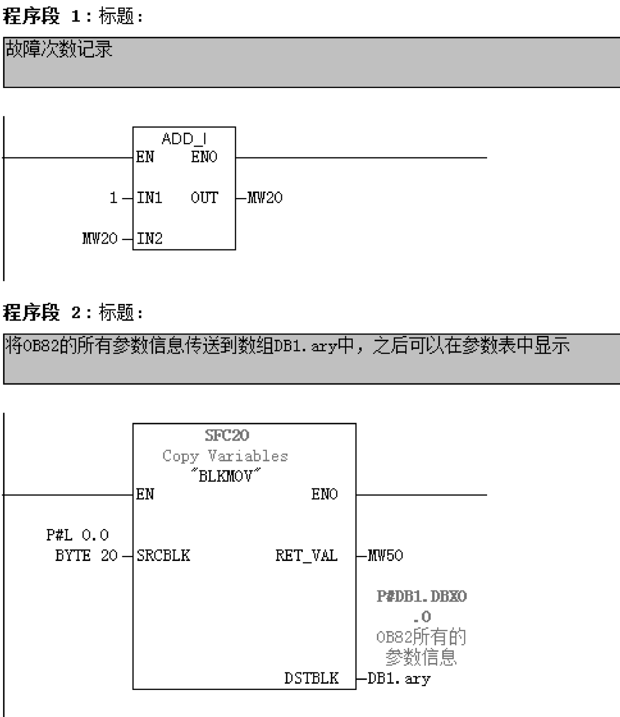


图 6-24　梯形图

（5）仿真

先把完整的程序下载到仿真器中，将仿真器置于“RUN”状态，在工具栏中单击“Execute”（执行）→“Trigger Error OB”（触发器）→“Diagostic Interrupt”（诊断中断），如图 6-25 所示，打开诊断中断界面。

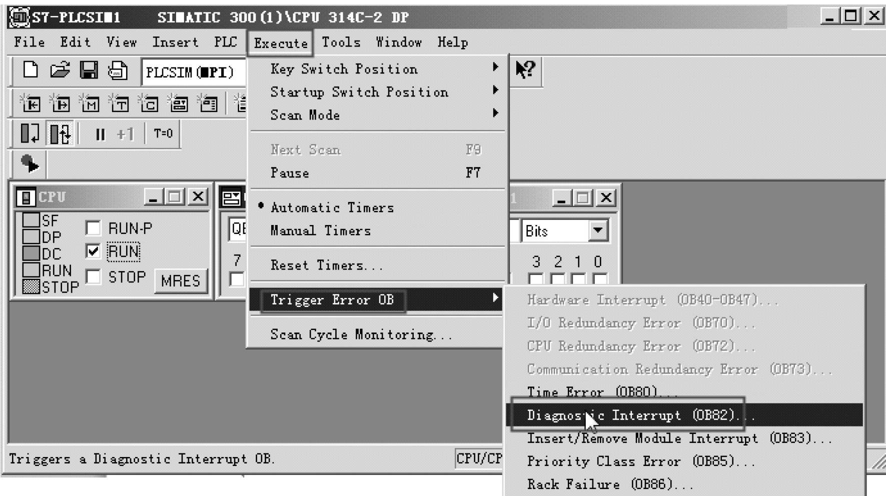


图 6-25　打开“诊断中断”界面

如图 6-26 所示，在“Module address”（模块地址）中输出故障模块的逻辑地址（即模拟量的通道号）“pqw256”，任意选择一个可能的故障，本例选择“Exernall fault”（外部故障），单击“OK”（确定）按钮，模拟外部断线。

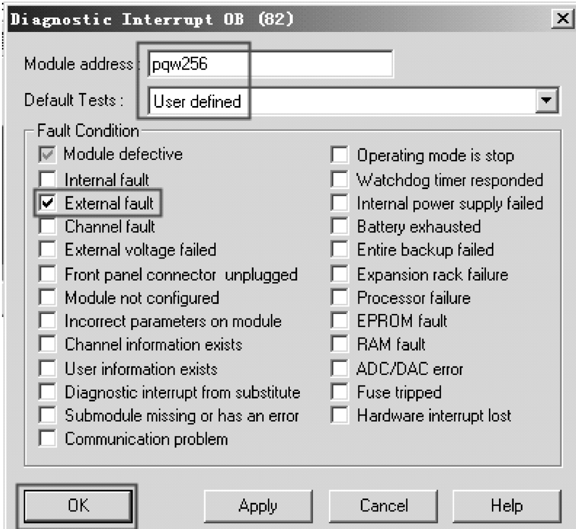


图 6-26 模拟故障

（6）监视故障

打开变量表，单击“监视变量”按钮，可以看到个参数，如图 6-27 所示。参数的含义如下：

1）MW20 代表故障的累计次数。

2）DB1. DBB0 为 16#39，表示事件到来。

3）DB1. DBB5 为 16#55，表示输出模块。

4）DB1. DBW6 为 16#0100，即输出模块的地址是 PQW256（256 的十六进制就是 16#0100）。

5）DB1. DBW8 为 16#1105（2#0001 0001 0000 0101），外部故障、通道故障、模块发生故障。



图 6-27 监视故障

【例 6-2】控制系统为 S7-300、ET200、SM323 和 SM332，SM332 输出电压信号，如果电压信号断线时，能通过 STEP7 的参数表查看到故障信号的通道，要求用 OB86 实现此功能。

硬件组态与上例相同，0B86 中的梯形图程序如图 6-28 所示。

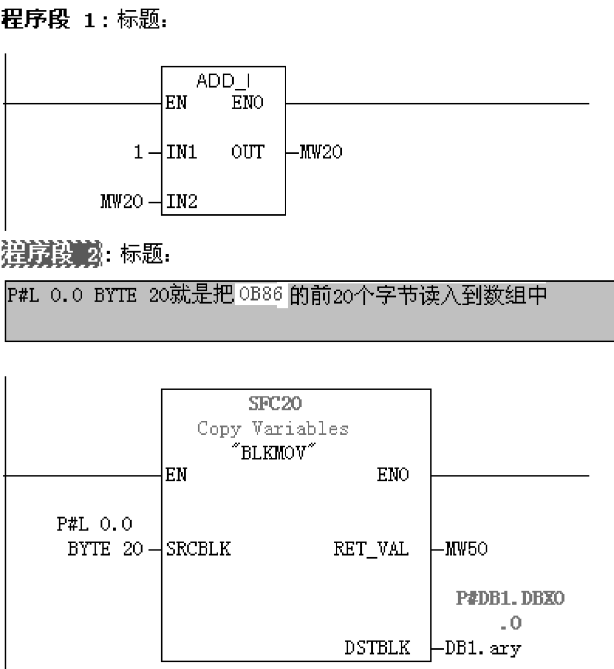


图 6-28　梯形图

创建如图 6-29 所示的变量表，并监控。

VAT_1 -- @OB86_故障\SIMATIC 300(1)\CPU 314C-2 DP\S7 程序...

	地址	符号	显示格式	状态值	修改数值
1	MW 20		DEC	1	
2	MW 50		DEC	0	
3	DB1.DBD 0		HEX	DW#16#39C41A56	
4	DB1.DBD 4		HEX	DW#16#C05403FF	
5	DB1.DBD 8		HEX	DW#16#03FE0103	
6	DB1.DBD 12		HEX	DW#16#13091515	
7	DB1.DBD 16		HEX	DW#16#17544141	
8					

图 6-29　变量表

图 6-29 所示变量表的 DBB0 为 16#39，表示事件到来。

DBB1 为 16#C4，表示从站故障。

DBB2 为 16#1A，表示 OB 优先级是 26。

DBB3 为 16#56，表示 OB 编号是 86。

DBW6 为 16#03FE 是从站诊断地址，DBW8 为 16#0103 表示主站系统编号是 01，从站是 03。DBD12 和 DBD14 表示事件发生的时间是 13 年 9 月 15 日 15 时 17 分 54 秒。

诊断地址和 DP 站地址是不同的概念。选中 DP 网线后，如图 6-30 所示，1022 就是 16# 03FE。选中从站 IM153-1 上的 PROFIBUS，即可看到从站诊断地址。

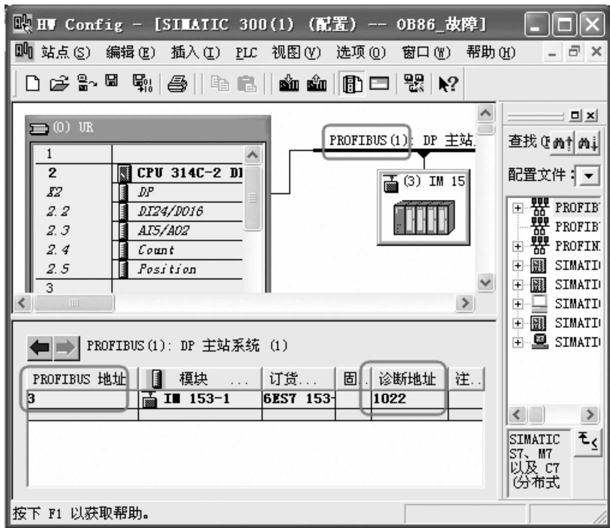


图 6-30 诊断地址

6.2.5 用 SFC13 进行故障诊断

SFC13 是 STEP7 中专用的诊断指令，具有强大的诊断功能。

以下用一个例子介绍 SFC13 的应用。先进行如下组态，如图 6-31 所示。

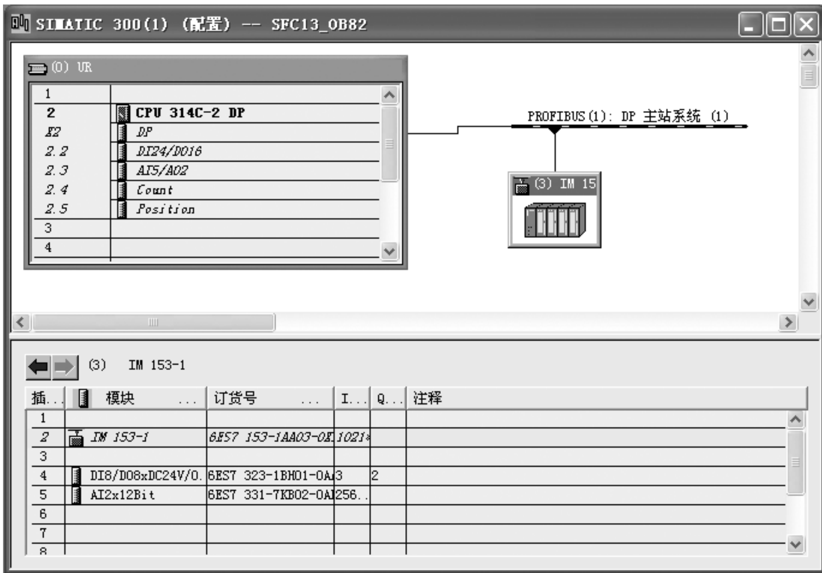


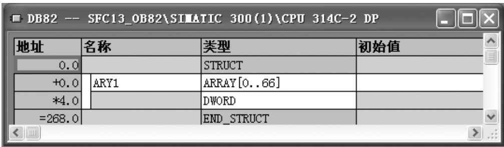
图 6-31 硬件组态

双击图 6-31 中的从站模块 IM153-1，从弹出的界面可以看到从站的诊断地址为 1022（就是 16#03FE），如图 6-32 所示。



图 6-32　DP 从站属性

在 DB82 中创建数组，如图 6-33 所示。



地址	名称	类型	初始值
0.0		STRUCT	
+0.0	ARY1	ARRAY[0..66]	
*4.0		DWORD	
=268.0		END_STRUCT	

图 6-33　创建数组

在 OB82 中编写程序，如图 6-34 所示。

```
程序段 1：标题:

      L     MW    80
      +     1
      T     MW    80

程序段 2：标题:

      L     B#16#39
      L     #OB82_EV_CLASS
      ==I
      JC    m002

m001: CALL  "DPNRM_DG"
       REQ    :=TRUE
       LADDR  :=W#16#3FE
       RET_VAL:=MW52
       RECORD :=P#DB82.DBX32.0 BYTE 29
       BUSY   :=M50.1
      A     M     50.1
      JC    m001
      BEU

m002: CALL  "DPNRM_DG"                    SFC13
       REQ    :=TRUE
       LADDR  :=W#16#3FE
       RET_VAL:=MW54
       RECORD :=P#DB82.DBX0.0 BYTE 29
       BUSY   :=M50.2
      A     M     50.2
      JC    m002
```

图 6-34　程序

创建并监控变量表如图 6-35 所示。



图 6-35　变量表

不编写上面的程序，单击如图 6-36 的“十六进制格式”按钮，得到从站信息和变量表中的是一样的。

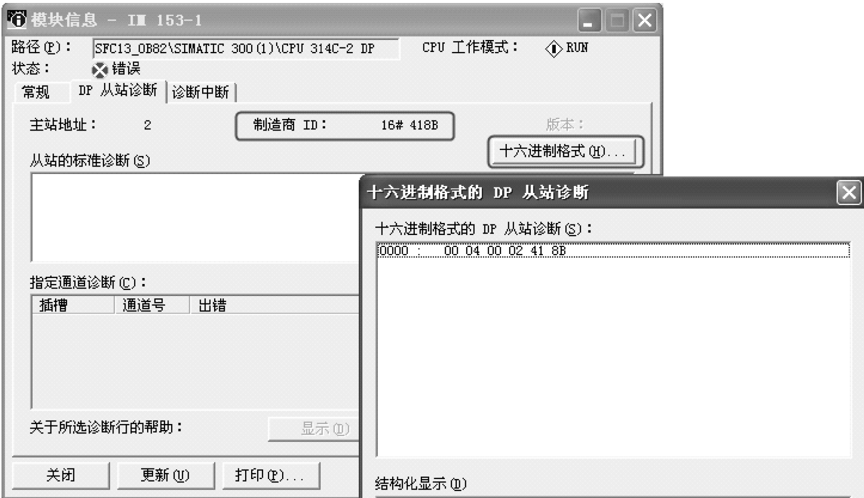


图 6-36　故障代码

在解读十六进制代码的含义前，必须清楚这些代码和不同的从站设备是相关的，读者应查阅相关手册得出代码表达的含义，本例使用的是 ET-200M，所以读者要查阅 ET-200M 手册。以下给出部分手册查阅到的信息。ET200M 的诊断数据结构见表 6-15。

表 6-15　ET200M 的诊断数据结构表

字　节　号	意　　义	字　节　号	意　　义
0～2	站状态	6～8	与标识符有关的诊断数据
3	PROFIBUS 地址	9～28	中断（站诊断），最多 20B
4～5	制造商 ID	X～X+7	H 状态，仅用于 S7-400

站状态 1 各位为 1 的意义见表 6-16。

表 6-16　站状态 1 各位为 1 的意义

位	意　　义
0	DP 主站不能访问 DP 从站
1	DP 从站尚未准备好进行数据交换
2	DP 主站发送到 DP 从站的组态数据与 DP 从站的实际组态不匹配
3	有外部诊断信息
4	DP 从站不支持请求功能
5	DP 主站不能解释 DP 从站响应
6	DP 从站类型与软件组态不相符合
7	其他 DP 主站（不是当前访问 DP 从站的 DP 主站）已组态 DP 从站

站状态 2 各位为 1 的意义见表 6-17。

表 6-17　站状态 2 各位为 1 的意义

位	意　　义
0	必须重启 DP 从站
1	有诊断消息，在解决问题之前，DP 从站不会运行
2	DP 从站的该位始终为 1
3	已启用 DP 从站的响应监视器
4	DP 从站已接收到冻结（FREEZE）控制命令
5	DP 从站已接收到同步（SYNC）控制命令
6	该位始终为 0
7	DP 从站被禁用，即已将从当前处理中隔离出来

站状态 3 一般为 16#00。

如图 6-37 所示，第 0 个字节 16#00、第 1 个字节 16#04 和第 2 个字节 16#00 表示无故障，第 3 个字节 16#02 表示主站地址是 2，第 4、5 个字节 16#418B 是制造商的 ID，这个代号可以在“模块信息”中看到。

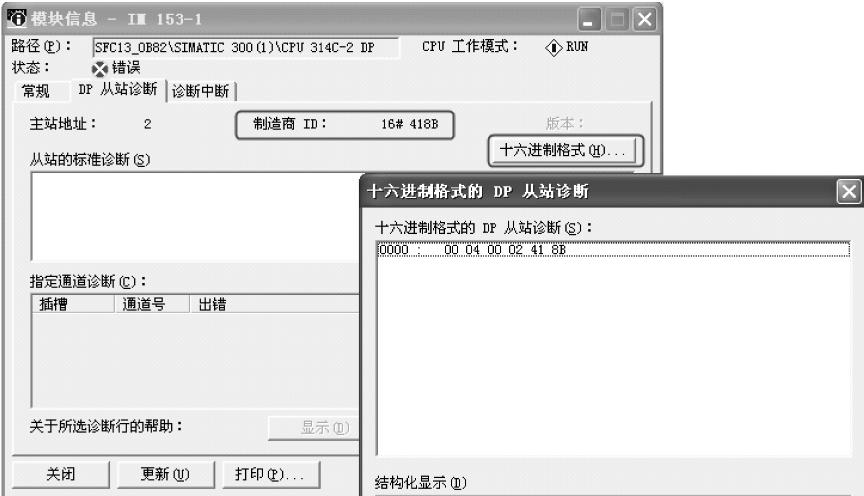


图 6-37　故障代码

此外，还有一些诊断方法没有讲解，如用 FB125 和 FC125 诊断、用硬件进行诊断等，请读者自行参考相关资料。

6.2.6 各种故障诊断的比较

（1）使用设备上的 LED 进行诊断

此方法简单、方便、直观，但给出的故障很笼统，需要其他方法（如 STEP 的快速视图、诊断视图和模块信息等）配合诊断，才能得出比较准确的诊断信息。如果系统比较大，查看诊断信息比较费事。

（2）使用 STEP7 进行诊断

此方法简便易行，可以迅速获得准确、详细的诊断信息，CPU 的模块的诊断缓冲区提供了错误的文本信息，例如 DP 站地址、出错模块的地址故障等。但需要安装 STEP7 软件，并会使用 STEP7 软件进行故障诊断的操作方法。

（3）诊断 DP 从站是否与 CPU 正常通信的方法

1）使用设备上的故障诊断 LED。

2）使用 STEP7 的可访问节点功能。

3）使用计算机通信处理器（CP5611）的诊断功能。

4）使用 FB125 和 FC125。

5）使用 STEP7 的快速视图、诊断视图和诊断缓冲区。

（4）使用 OB86 和 OB82 的局部变量进行诊断

产生故障后，调用 OB86、OB82，调用 SFC20 保存 OB 的 20B 局部变量后，可获取产生的故障信息，查阅 OB 的在线帮助，获得局部变量的意义，即是诊断信息。

（5）使用硬件进行诊断

1）PLC 的通信处理器进行诊断，诊断信息不具体。

2）诊断中继器进行诊断，可以诊断故障的具体位置，但组态和诊断的准备工作比较复杂。

3）BT-200 总线诊断器诊断。多用于系统的安装和调试过程。

（6）调用 SFC13 进行诊断

诊断 DP 网络故障最常用的是 SFC13，在分析和编写程序时，必须查询相关手册，要搞清楚每个字节的含义，数据分析工作量大，要求相对较高，有一定的难度。

（7）调用 FB125 进行诊断

FB125 是中断诊断驱动的功能块，其背景数据块有 1000 多个字节，可以用变量表示各种状态的从站。分析 FB125 提供的诊断数据量的工作比较大。

FC125 是一个简化的版本，它只提供“哪些站点有错误”的信息，不能显示详细的诊断信息。

（8）用报告系统错误功能诊断和显示故障

STEP7 的“报告系统错误”功能只需要简单组态，几乎全部采用默认参数，就可以自动生成用于诊断和发送消息的 OB、FB、SFC 和 DB，以及各种机架、从站和模块的故障信息，故障的消息信息传送到 HMI 或者 WinCC，用消息的形式显示故障。

（9）其他的故障诊断方法

还有诊断中继器、SFC51 等。

总之，故障诊断比较难，不易掌握，读者应由浅入深，学习 S7-300/400 的基础知识，很难想象，PLC 编程都很生疏的人，就能掌握 FB125 这么复杂的诊断功能块。

6.3 工程常见调试和故障诊断 30 例

以下有 30 个故障诊断实例，故障涉及 PLC、变频器、伺服驱动和通信，是作者在调试和维修设备时碰到的典型问题，具有一定的代表性。

【调试和故障诊断实例 1】

故障现象：

某冲压设备，控制系统由 PLC、伺服和变频器组成，运料小车由伺服驱动同步带驱动。使用一段时间后，发现同步带松弛，张紧同步带后发现，定位不准。

故障检查与排除：

1）这是正常现象，同步带松弛，张紧后，同步带的节距变长，导致定位不准。

2）解决方案：需要重新定位。使用伺服系统和同步带定位时，必须要设计重新定位的程序和操作界面。

【调试和故障诊断实例 2】

故障现象：

某钻杆热处理设备，控制系统由 PLC 和变频器组成，运料小车由变频器驱动丝杠驱动。工艺要求送料小车前进时慢速（20 Hz），后退时快速（90 Hz），且要求前进到位后尽快返回。使用一段时间后，发现返程时，小车经常超程，既麻烦，也损害设备。

故障检查与排除：

1）最容易想到的办法是：加长停机时的减速时间，但要注意，本例的工艺不允许这么做。

2）解决方案：在后退的限位开关前，加一个限位开关，变频器接到此信号后，减速到（20 Hz），然后停下，问题解决。

【调试和故障诊断实例 3】

故障现象：

图 6-38 所示为某初学者接线的控制系统，使用几天后，变频器电源烧毁。

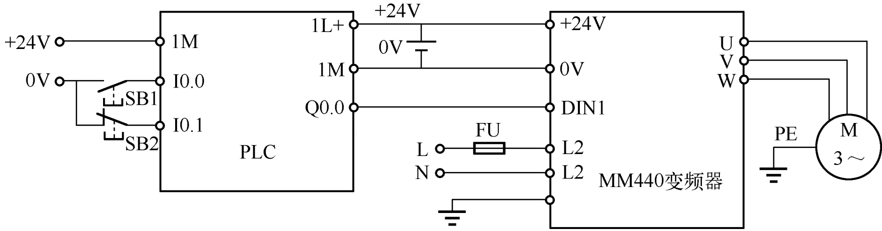


图 6-38　原理图

故障检查与排除：

1）如图 6-44 所示的原理图是错误的。错误在于变频器的 DIN1 有 2 个供电电源，一个是外部电源，一个是变频器内部电源，通常这是不允许的。

2）解决方案：方案 1，只要把变频器的内部电源不接入即可，只用一个电源，这是最佳办法。

方案 2，可以使用双电源供电，改进后的电源如图 6-39 所示。

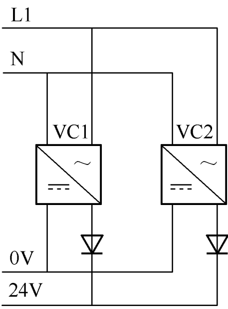


图 6-39　原理图

【调试和故障诊断实例 4】

故障现象：

某设备的电磁阀额定功率为 20 W，额定电压为 +24 V，电磁阀上电，系统工作正常，但断电时，会造成直流电源跳闸。

故障检查与排除：

这个跳闸应与短路无关。由于电磁阀的功率较大，断电后会产生较大的感应电动势，对直流电源产生较大的干扰，因此直流电源跳闸。

解决方法 1：

最容易想到的方法是加续流二极管，如图 6-40 所示。

解决方法 2：

单独给冲击性负载供电。

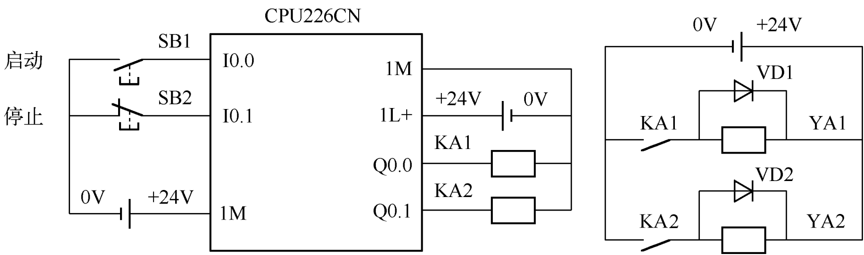


图 6-40　原理图

【调试和故障诊断实例 5】

故障现象：

某设备的主回路有变频器，电源开关为剩余电断路器，运行时，电源开关时常跳闸。

故障检查与排除：

一般不能在变频器前使用剩余电断路器。因为变频器的整流输入电路和大功率输出电路，却会对电源产生比较大的高次谐波干扰，容易造成剩余电断路器跳闸。通常使用一般断路器。

如果一定要使用剩余电断路器，则应选用剩余电较大的剩余电断路器。

【调试和故障诊断实例 6】

故障现象：

某纺织机械，配丹佛斯变频器，正常转速为 10000 r/min，正常启动和运行时，无故障，但停机阶段，数次损坏变频器的电容。

故障检查与排除：

1）起动和运行阶段无故障，表明变频器的功率足够。

2）设备的转速高，停机时电动机的巨大的动能转换成电能反冲到变频器的电容，过量的电量致使电容烧毁。

3）在直流回路中添加制动电阻后，问题解决，再无烧电容现象。

【调试和故障诊断实例 7】

按如图 6-41 所示接线，之后按下 SB1、SB2 和 SB3 按钮，发现输入端的指示灯没有显示，PLC 中没有程序，但灯 HL 常亮，接线没有错误，+24 V 电源也正常。怀疑是输入和输出接口烧毁，请问是否正确。

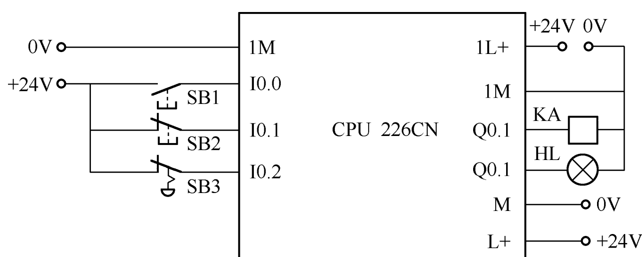


图 6-41　原理图

分析如下：

1）一般输入端口不会烧毁，因为输入接口电路有光电隔离电路保护，除非有较大电压（如 AC 220V）的误接入，而且烧毁输入接口一般也不会所有的接口同时烧毁。经过检查，发现接线端子 1M 是“虚接”，压紧此接线端子后，输入端恢复正常。

2）误接线容易造成晶体管输出回路的器件烧毁，晶体管的击穿会造成回路导通，从而造成 HL 灯常量。

【调试和故障诊断实例 8】

某设备的控制系统由 PLC 和 5 台 G120 变频器组成，操作工反映每天晚上有 1 ~2 次变频器停机，上电后可正常使用，白天正常。

故障现象：

维修检查发现：报警信息为“F06310”，晚上的电压偏高，为 420 V，而白天电压基本正常，为 390 V。为过压报警。

故障检查与排除：

安装了 20 kW 的自耦变压器，将电压调整到 370 ~400 V，问题得到解决。

【调试和故障诊断实例 9】

故障现象：

某设备的控制系统由 S7-300、数字量和模拟量模块组成，通电后发现模拟量模块的通道烧毁（系统并无短路和过电压故障）。

故障检查与排除：

维修检查发现：接线电工疏忽，将地线和零线接错，由于模拟量通道无光电隔离，所以容易烧毁。

把接错的线更正，问题得到解决。

【调试和故障诊断实例 10】

故障现象：

某自动化设备上配有 PLC，最后一道工序是打标机，打标信号由 PLC 的继电器的触头送给打标机，发现：90% 的情况打标机能正常工作，而 10% 不能打标，原理图如图 6-42 所示。

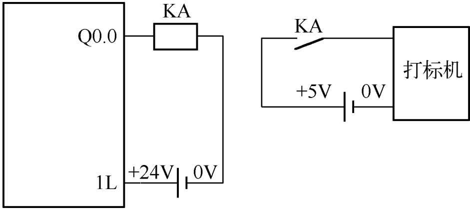


图 6-42　原理图

故障检查与排除：

经过检查，打标机没有问题，自动化设备的前端也没有问题，分析原因是继电器闭合瞬间产生较大干扰，导致打标机不工作，加滤波后，工作正常，改进后的原理图如图 6-43 所示。

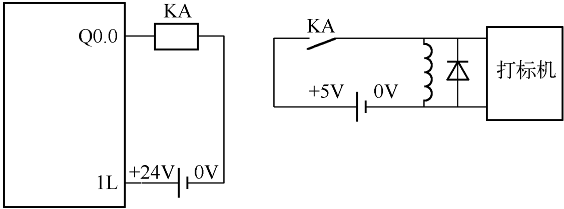


图 6-43　原理图

【调试和故障诊断实例 11】

故障现象：

某初学者，下载程序到 S7-300 后，SF 灯亮，不知是硬件故障还是程序错误，怎么办。

故障检查与排除：

删除下载的程序，只下载正确的硬件组态，看是否 SF 亮，如不亮，则程序错误。

【调试和故障诊断实例 12】

故障现象：

某设备的控制器为 S7-300 和 CP343-1，发现 CPU 的 STOP 和 SF 灯亮，而 CP343-1 的灯都不亮。

故障检查与排除：

1）首先检查接线是否正确，有无断线、短路和接错线，DC 24V 供电电压是否正常。

2）系统断电，检查模块是否安装牢固。

3）排除以上问题基本可以得出，CP343-1 模块故障，需要拆下，并更换新的模块。

【调试和故障诊断实例 13】

故障现象：

如图 6-44 所示伺服系统，橙色为电源线，绿色为编码器线，使用时，偶尔有干扰现象。

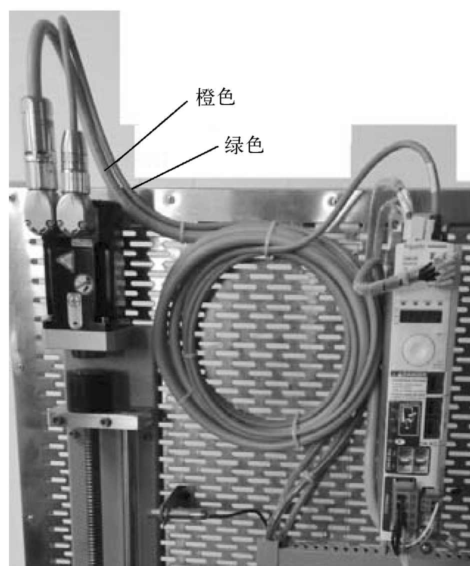


图 6-44　系统照片

故障检查与排除：

1）强电和弱电要分开，电源线和编码器线不能捆扎在一起。

2）电源线最好不要环绕，间距最好大于 20 cm。

【调试和故障诊断实例 14】

故障现象：

维修人员发现 S7-200（继电器型输出）的 Q0.3 烧毁，问怎样解决？

故障检查与排除：

1）办法 1：拆开主板，更换继电器，这种办法对维修人员要求高。

2）办法 2：此 PLC 还有备用点 Q3.3，将 Q0.3 上的硬接线，改到 Q3.3 上，再将程序中的 Q0.3 全部替换成 Q3.3，这种办法容易实现，但必须要源代码。

【调试和故障诊断实例 15】

故障现象：

某钢厂设备的控制系统由 1 台 CPU315-2DP、3 台 MM440 和 2 台 ET200M 以及 I/O 模块组成。其中一台变频器安装在一台移动小车上。经常出现小车变频器接头松动而造成系统崩溃，生产厂家一直未能解决。请解决此问题。

故障检查与排除：

1）移动小车造成 PROFIBUS-DP 通信接头松动，这是很正常的事情，也很难防止其再

次松动。

2）解决方案：将小车上的变频器和 CPU 的信息沟通不采用 PROFIBUS-DP 通信，而直接用 ET200M 上的模拟量调速，起停等信息用 ET200M 上的 I/O 端子。

3）做此改进后，系统可以稳定运行。

【调试和故障诊断实例 16】

故障现象：

某设备的控制系统由 1 台 CPU315-2DP 和 10 个从站组成，采用 PROFIBUS-DP 通信。站间通信距离最远为 200 m。调试时，发现系统很不稳定，通信频繁出错。请查找原因。

故障检查与排除：

1）厂家的此设备已经出售多台，未发现类似原因，可排除设备设计和程序上的重大缺陷。

2）检查 DP 接头和所有屏蔽线都接线正常。

3）把波特率从 500 kbit/s 降至 9.6 kbit/s，也无明显改善。

4）后检查现场发现有多台大功率变频器和中频淬火炉，且频繁起停，后停止运行附近所有设备，通信正常，故判断为干扰所致。

5）解决方案：将 DP 通信电缆改为光纤通信电缆，问题得以解决。因为光纤抗干扰能力强。

【调试和故障诊断实例 17】

故障现象：

某设备的控制系统由 1 台 CPU315-2DP 和多个从站组成。有一台 AGV 运料小车与主站采用无线通信。试用一段时间后，发现系统不稳定，主要是对 AGV 小车控制不准确，有时甚至按下急停按钮也不停机。请查找原因。

故障检查与排除：

1）工作现场的情况复杂，干扰信号多。对无线信号的影响比较大。AGV 小车收不到急停信号，说明干扰信号比较大，这种影响有时甚至是致命的。

2）解决方案：将无线信号改为有线控制，控制线由软链拖曳，使用效果良好。

【调试和故障诊断实例 18】

故障现象：

S7-300 AI 模块，输入信号为 4 ~ 20 mA 电流，接线与程序均无问题，但是接收的数据在程序监控中跳动很大。

故障检查与排除：

1）将信号 AI- 与 AI 模块的电源负短接，这种办法 80% 的情况都能解决。

2）有些情况是解决不了的，只有加模拟信号隔离器来解决。

【调试和故障诊断实例 19】

故障现象：

WinCC 通过 CP5611 通信卡与 PLC 进行 MPI 通信，所有组态、设置均无问题，但是

连接时通信时好时坏，通过软件检测硬件（test），结果为 OK，但是通信一直存在问题。

故障检查与排除：

将通信所用的 DP 电缆与 DP 接头，全部拆下，发现 DP 电缆的屏蔽层与 DP 接头内的接地没有连接，重新制作，再试，通信正常。

【调试和故障诊断实例 20】

故障现象：

现场一台 CPU315-2DP 采用 PID 输出调节变频器的频率，发现 PID 输出到 100%（即 AO 模块输出最大 20 mA 电流信号），但是变频器的频率没有到最大的 50 Hz，查电流确实没到 20 mA，只有 16 mA。

故障检查与排除：

查找问题，发现 AO 模块后面有隔离器。将隔离器跳开，AO 模块直接输出到变频器上，问题解决。

【调试和故障诊断实例 21】

故障现象：

将 CPU315-2DP 的信号线与动力线放在同一个桥架内，发现现场没有设备反馈信号至 PLC；接线检查多次，没有问题。但 PLC 的一个 DI 模块的几个 LED 指示灯却一直点亮。

故障检查与排除：

用万用表测量，有 110 V 以上的电压。

原因：强电的感应电。

解决方案：强电和弱电布线分开。可见，强电和弱电分开布置是非常重要的。

【调试和故障诊断实例 22】

故障现象：

某钢厂新增加一套输灰设备，方案为原有 CPU414 自带 ET200M 远程站，因为远程站为 ET200M 没有 CPU，编程需要在原有 CPU414 上进行，因为增加硬件、程序必须重新下载。但是，业主只允许停机半个小时。问怎么解决？

故障检查与排除：

事先把组态和程序认真模拟仿真，确保无较大的疏漏。下载硬件组态 CPU 会停机重启，但下载软件 CPU 不会停机，因此，半小时停机时间是足够的，即使程序不正确，也可以重新下载，但必须保证硬件组态正确。

【调试和故障诊断实例 23】

故障现象：

某设备的控制系统由 1 台 CPU315-2DP、1 台 G120（控制风机）、3 台软起动器（控制风机）和 3 台 ET200M 组成，ET200M 与 CPU315-2DP 为 DP 通信。G120 模拟量速度给定，端子排起停控制，软启动器为直接端子排起停控制。

某日发现 2 台风机不能在远程中控室中用 HMI 控制运行，变频器控制不能就地起动，

而软启动的可以就地起动。其他设备均可中控制室控制。

故障检查与排除：

在中控室发出软启动器起停信号，PLC 上有灯指示，表明信号到达 PLC，通信无问题；继续查找，发现中间继电器不吸合，更换中继即可。

变频器处，用信号发生器给模拟量信号和端子排起停信号，也不能起动，表明变频器故障，需要维修。

【调试和故障诊断实例 24】

故障现象：

洗衣机不锈钢内筒生产线上的液压专机发生故障，油缸下行后无法上行，总是停留在下死点，手动进行上行操作也无效。

故障检查与排除：

此液压专机电气控制系统为 PLC 控制，检查液压系统，油压正常。此油缸控制电磁阀为二位五通电磁阀，直接用螺丝刀顶电磁阀换向阀芯，也无法换向。而此时发现电磁阀线圈有吸力。后测量发现电磁阀线圈有电压。而此时 PLC 信号输出指示灯显示无输出。经过检查发现 PLC 输出触点粘连，造成下降线圈一直得电。

故障排除：更换 PLC 输出触点，故障排除。(此故障为电气系统设计问题，PLC 输出点直接控制电磁阀线圈，后期需进行整改)

【调试和故障诊断实例 25】

故障现象：

洗衣机装配生产线上的搬运机械手在工件到位后无夹紧动作，检测工件到位信号采用是对射式光电传感器，根据 I/O 接线图，先检查 PLC 输入端信号是否正常，结果发现流水线有工件，但输入端无信号。

故障检查：根据经验先重点检查红外线传感器及相关线路。经过现场测试工作正常，再检查相关信号线路没有发现断线等故障。短接信号输入端与公共端、PLC 输入端也没有信号，故障为 PLC 输入端内部光耦损坏。

故障排除：更换到空余的 PLC 输入端，故障排除。故障分析，此红外线传感器信号由继电器输出，通过接线端子送到控制柜，安装接线端子的接线盒在设备的下面，由于接线盒锈蚀，线路凌乱，外部的潮气进入接线盒，致使信号端子附近强电窜入弱电回路，烧坏 PLC 光耦。

【调试和故障诊断实例 26】

故障现象：

洗衣机离合器生产线的轴承压入机在运行中突发故障，无自动运行，尝试手动操作进行复位，手动也无动作。

故障检查：首先检查电气控制系统（三菱 FX2N），发现 PLC 面板上电源指示灯闪烁，运行指示灯不亮，根据现象怀疑 PLC 故障，更换 PLC 故障依旧。后查阅图纸发现，外接的 2 只传感器为 3 线式。传感器使用的是 PLC 内部的 24 V 电源（厂家为节约成本）。故将 PLC 上 24 V 电源的正极接线断开，PLC 恢复正常。

故障排除：按图索检查2只3线式传感器的线路，发现其中一只传感器的线缆破损，线缆内部电源的正负极短路，造成PLC短路保护。经询问操作工人，故障发生前有一箱零件倾倒下来，故分析此故障的原因是倾倒下来的零件砸伤了传感器的线缆造成短路故障。

建议不要使用PLC的内部电源向传感器供电，而要使用外部开关电源供电。

【调试和故障诊断实例27】

故障现象：

FR-E700变频器，刚起动时，E.0C1报警，请问可能是什么原因？

故障检查与排除：

1）先查手册，E.0C1为加速过流报警，首先想到：把加减速时间都延长，但仍然报警。

2）把电动机脱开，也就是不加负载，看有无报警，若无，则很可能是负载卡死或者过大，若仍然报警，则很可能变频器故障。

3）后发现是变频器故障，送厂家维修。

【调试和故障诊断实例28】

故障现象：

某系统配有2套伺服系统，伺服系统拖动小车快速送料，调试时发现振动较大，影响生产。

故障检查与排除：

1）先检查机械结构，对机械结构紧固，震动有所改善。

2）后来将伺服驱动器的加速和减速时间加大，问题最终解决。

【调试和故障诊断实例29】

故障现象：

某设备的运料翻斗控制系统由PLC和变频器组成，翻斗从低处取料后到高处，再下移后卸料，运行时，变频器经常在下移过程中报警。系统有制动电阻。

查找原因：翻斗在下降过程中，翻斗带动电动机转动，电动机变成发电机，多余的电力使泵升电压升高，从而致使变频器过压报警。

解决方案：将制动电阻的功率调大，问题得以解决；也可采用增加回馈单元，或者直流共母线的方法加以解决。

【调试和故障诊断实例30】

故障现象：

某设备的控制系统由1台CPU314C-2DP和2个从站（3号和4号从站）组成，采用PROFIBUS-DP通信。某日早上，设备不能正常开机，发现CPU的SF和BF灯亮。请进行故障诊断。

故障检查与排除：

1）首先判断通信故障，采用快速视图诊断，如图6-45所示。

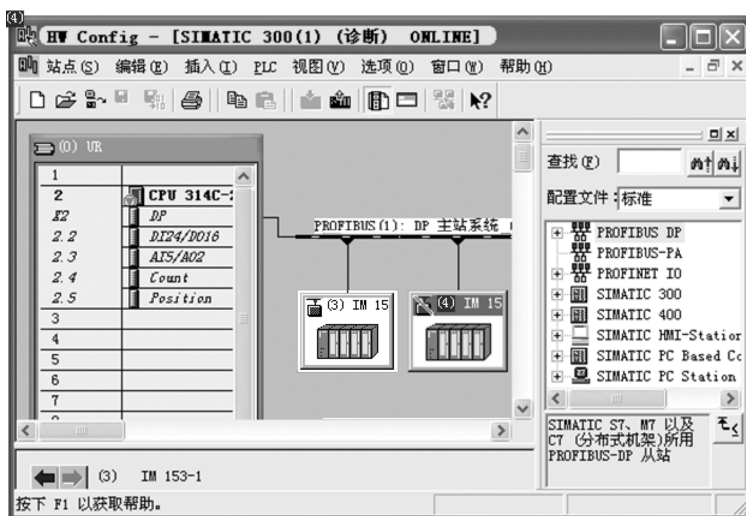


图 6-45 硬件组态

2）仔细检查后发现，第 3 站 DP 接头上的终端电阻置于“ON”，将其拨到“OFF”即可。

第 7 章　西门子 PLC 其他应用技术

本章介绍西门子 PLC 的高速输入点的应用和西门子常见一些难点（库、指针和自定义数据类型）的应用。

7.1　高速计数器的应用

7.1.1　高速计数器简介

S7-200 CPU 提供了多个高速计数器（HSC0 ~ HSC5）以响应快速脉冲输入信号。高速计数器的计数速度比 PLC 的扫描速度要快得多，因此高速计数器可独立于用户程序工作，不受扫描时间的限制。用户通过相关指令，设置相应的特殊存储器控制计数器的工作。

1. 高速计数器的工作模式和输入

高速计数器有 12 种工作模式，每个计数器都有时钟、方向控制、复位启动等特定输入。对于双向计数器，两个时钟都可以运行在最高频率，高速计数器的最高技术频率取决于 CPU 的类型。在正交模式下，可选择 1 ×（1 倍速）或者 4 ×（4 倍速）输入脉冲频率的内部技术频率。

高速计数器的工作模式和输入点见表 7-1。

表 7-1　高速计数器的工作模式和输入点

模　式	中 断 描 述	输　入　点			
	HSC0	I0. 0	I0. 1	I0. 2	
	HSC1	I0. 6	I0. 7	I1. 0	I1. 1
	HSC2	I1. 2	I1. 3	I1. 4	I1. 5
	HSC3	I0. 1			
	HSC4	I0. 3	I0. 4	I0. 5	
	HSC5	I0. 4			
0		时钟			
1	带有内部方向控制的单相计数器	时钟		复位	
2		时钟		复位	起动
3		时钟	方向		
4	带有外部方向控制的单相计数器	时钟	方向	复位	
5		时钟	方向	复位	起动
6		增时钟	减时钟		
7	带有增减计数时钟的双相计数器	增时钟	减时钟	复位	
8		增时钟	减时钟	复位	起动

（续）

模　式	中断描述	输入点			
9	A/B 正交计数器	时钟 A	时钟 B		
10		时钟 A	时钟 B	复位	
11		时钟 A	时钟 B	复位	起动
12	只有 HSC0 和 HSC3 支持模式 12				

【关键点】S7－200 CPU221、CPU222 没有 HSC1 和 HSC2；CPU224、CPU224XP 和 CPU226 拥有全部的 6 个高速计数器。只有 HSC0 和 HSC3 支持模式 12，其中 HSC0 计数 Q0.0 的输出脉冲，HSC3 计数 Q0.1 的输出脉冲，在此模式下工作时，并不需要外部接线。

高速计数器的硬件输入接口与普通数字量接口使用相同的地址。已经定义用于高速计数器的输入点不能再用于其他功能。但某些模式下，没有用到的输入点还可以用作开关量输入点。

2. 高速计数器的控制字和初始值、预置值

所有的高速计数器在 S7-200 CPU 的特殊存储区中都有各自的控制字。控制字用来定义计数器的计数方式和其他一些设置，以及在用户程序中对计数器的运行进行控制。高速计数器的控制字的位地址分配见表 7-2。

表 7-2　高速计数器的控制字的位地址分配表

HSC0	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5	描　述
SM37.0	SM47.0	SM57.0	—	SM147.0	—	复位有效控制，0＝复位高电平有效，1＝复位低电平有效
—	SM47.1	SM57.1	—	—	—	起动有效控制，0＝起动高电平有效，1＝起动低电平有效
SM37.2	SM47.2	SM57.2	—	SM147.2	—	正交计数器速率选择，0＝4×计数率，1＝1×计数率
SM37.3	SM47.3	SM57.3	SM137.3	SM147.3	SM157.3	计数方向控制，0＝减计数，1＝加计数
SM37.4	SM47.4	SM57.4	SM137.4	SM147.4	SM157.4	向 HSC 中写入计数方向，0＝不更新，1＝更新
SM37.5	SM47.5	SM57.5	SM137.5	SM147.5	SM157.5	向 HSC 中写入预置值，0＝不更新，1＝更新
SM37.6	SM47.6	SM57.6	SM137.6	SM147.6	SM157.6	向 HSC 中写入初始值，0＝不更新，1＝更新
SM37.7	SM47.7	SM57.7	SM137.7	SM147.7	SM157.7	HSC 允许，0＝禁止 HSC，1＝允许 HSC

高速计数器都有初始值和预置值，所谓初始值就是高速计数器的起始值，而预置值就是计数器运行的目标值，当前值（当前计数值）等于预置值时，会引发一个内部中断事件，初始值、预置值和当前值都是 32 位有符号整数。必须先设置控制字以允许装入初始值和预置值，并且初始值和预置值存入特殊存储器中，然后执行 HSC 指令使新的初始值和预置值有效。装载高速计数器的初始值、预置值和当前值的寄存器与计数器的对应关系见表 7-3。

表 7-3　装载初始值、预置值和当前值的寄存器与计数器的对应关系表

高速计数器	HSC0	HSC1	HSC2	HSC3	HSC4	HSC5
初始值	SMD38	SMD48	SMD58	SMD138	SMD148	SMD158
预置值	SMD42	SMD52	SMD62	SMD142	SMD152	SMD162
当前值	HC0	HC1	HC2	HC3	HC4	HC5

3. 指令介绍

高速计数指令的格式见表 7-4。

表 7-4　高速计数指令格式

LAD	STL	功　　能
HDEF EN　ENO HSC MODE	HDEF，HSC，MODE	定义高速计数器，并指定其模式
HSC EN　ENO N	HSC　N	执行高速计数器 HSCN

以下通过一个简单例子说明控制字和高速计数器指令的具体应用，梯形图如图 7-1 所示。

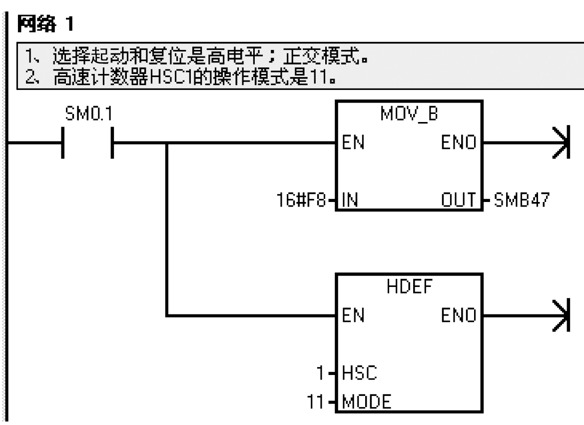
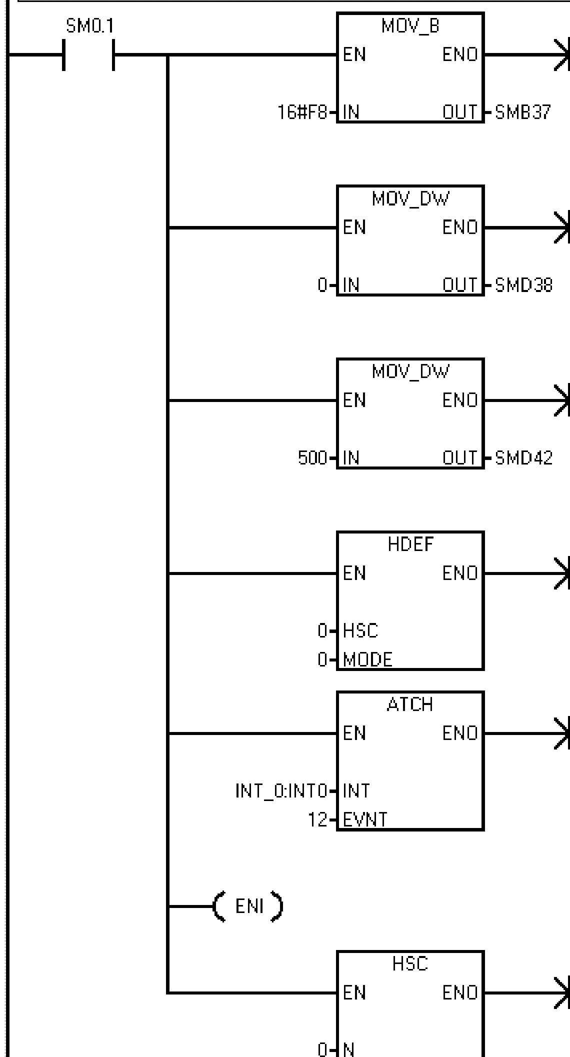


图 7-1　程序

【例 7-1】 用高速计数器 HSC0 计数，当计数值达到 500～1000 之间时报警，报警灯 Q0.0 亮。

【解】

从这个题目可以看出，报警有上位 1000 和下位 500，因此当高速计数达到计数值时，要 2 次执行中断程序。主程序如图 7-2 所示，中断程序 0 如图 7-3 所示，中断程序 1 如图 7-4 所示。


网络 1
1、加计数，允许计数。
2、装载当前值CV。
3、装载预置值PV。
4、设置HSC0为模式0。
5、当前值等于预置值时，执行中断INT_0。
6、允许全局中断。
7、起动HSC0。
SM0.1
MOV_B
EN
ENO
16#F8
IN
OUT
SMB37
MOV_DW
EN
ENO
0
IN
OUT
SMD38
MOV_DW
EN
ENO
500
IN
OUT
SMD42
HDEF
EN
ENO
0
HSC
0
MODE
ATCH
EN
ENO
INT_0:INT0
INT
12
EVNT
ENI
HSC
EN
ENO
0
N
符号
地址
注释
INT_0
INT0
中断例程注释
网络 2

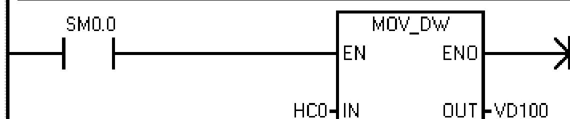

SM0.0
MOV_DW
EN
ENO
HC0
IN
OUT
VD100

图 7-2　主程序

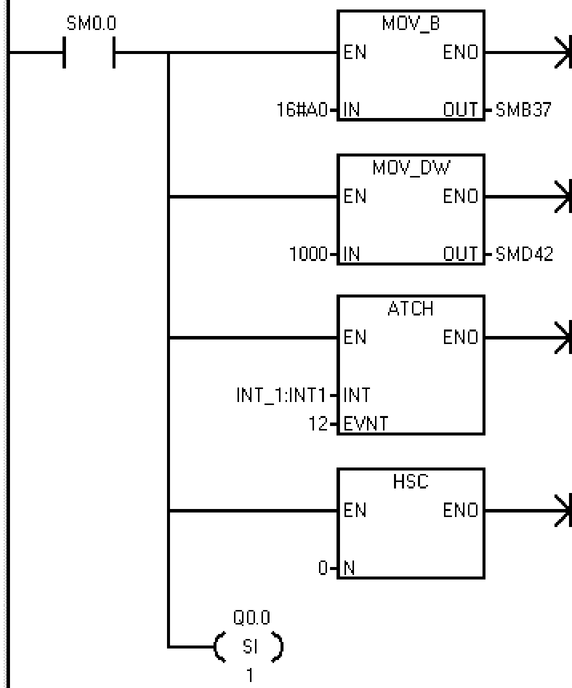


图 7-3　中断程序 0

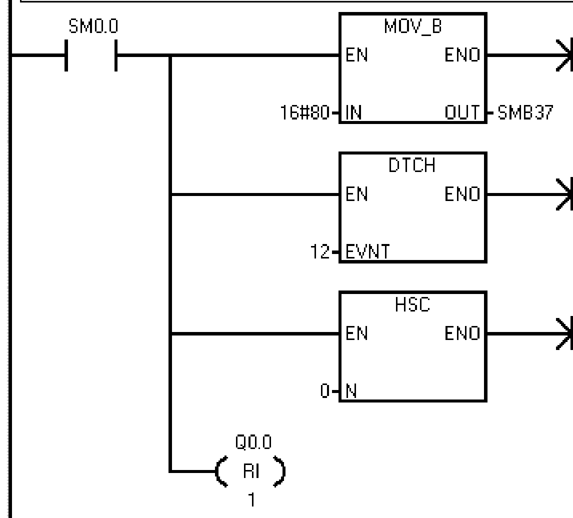


图 7-4　中断程序 1

7.1.2　高速计数器在转速测量中的应用

以下通过两个例子说明高速计数器在转速测量中的应用。

【例 7-2】 一台电动机上配有一台光电编码器（光电编码器与电动机同轴安装），试用 S7-200 CPU 测量电动机的转速。

由于光电编码器与电动机同轴安装，所以光电编码器的转述就是电动机的转速。接线图如图 7-5 所示。

1. 软硬件配置

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 台 CPU226CN。

③ 1 台光电编码器（1024 线）。

④ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

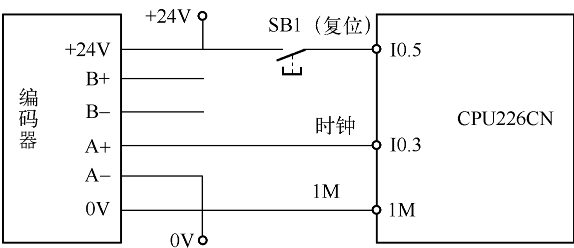


图 7-5　接线图

【关键点】 光电编码器的输出脉冲信号有 +5 V 和 +24 V（或者 18 V），而多数 S7-200 CPU 的输入端的有效信号是 +24 V（PNP 接法时），只有 CPU224XP 型的 I0.3、I0.4 和 I0.5 三个输入端子既可以接入 +5 V 的信号，也可以接入 +24 V 的信号。因此，在选用光电编码器时要注意最好不要选用 +5 V 输出的光电编码器。图 7-5 中的编码器是 PNP 型输出，这一点也非常重要，在选型时要注意。此外，编码器的 A - 端子要与 PLC 的 1M 短接。否则不能形成回路。

那么若只有 +5 V 输出的光电编码器是否可以直接用于以上回路测量速度呢？答案是不可以，但经过晶体管升压后是可行的，具体解决方案请读者自行思考。

2. 编写程序

本例的编程思路是对高速计数器先进行初始化，起动高速计数器，在 100 ms 内高速计数器计数的个数转化成每分钟编码器旋转的圈数就是光电编码器的转速，即电动机的转速。光电编码器为 1024 线，也就是说，高速计数器每收到 1024 个脉冲，电动机就转 1 圈。电动机的转速公式如下：

$$n=\frac{N\times10\times60}{1024}=\frac{N\times75}{2^7}(\mathrm{r/min})$$

式中，n 为电动机的转速；N 为 100 ms 内高速计数器计数个数（收到脉冲个数）。

程序如图 7-6 ~ 图 7-9 所示。

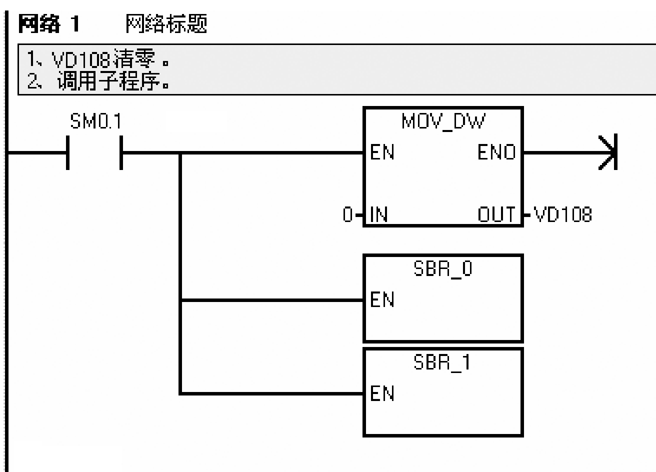


图 7-6　主程序

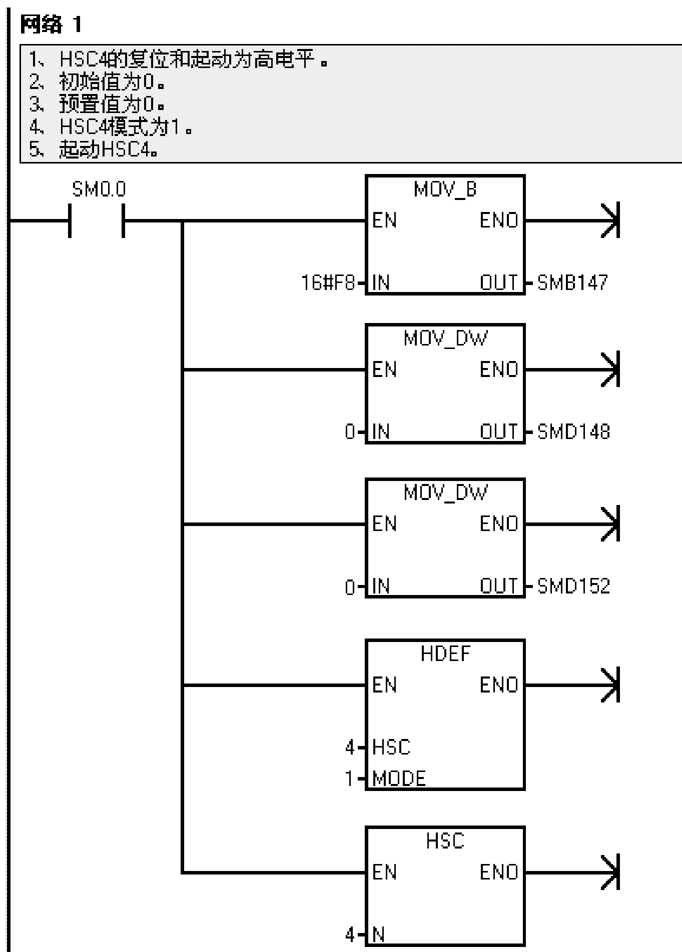


图 7-7　子程序 SBR_0

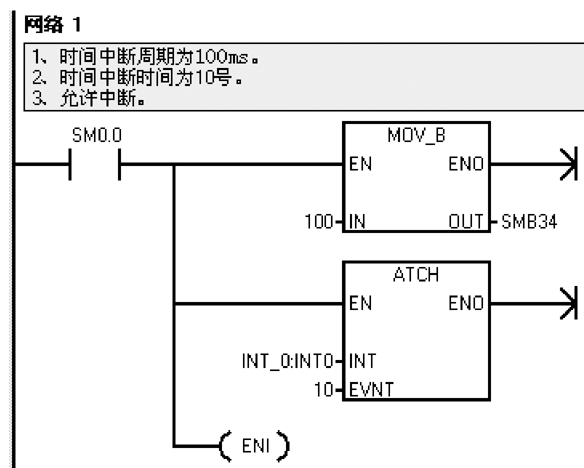


图 7-8　子程序 SBR_1

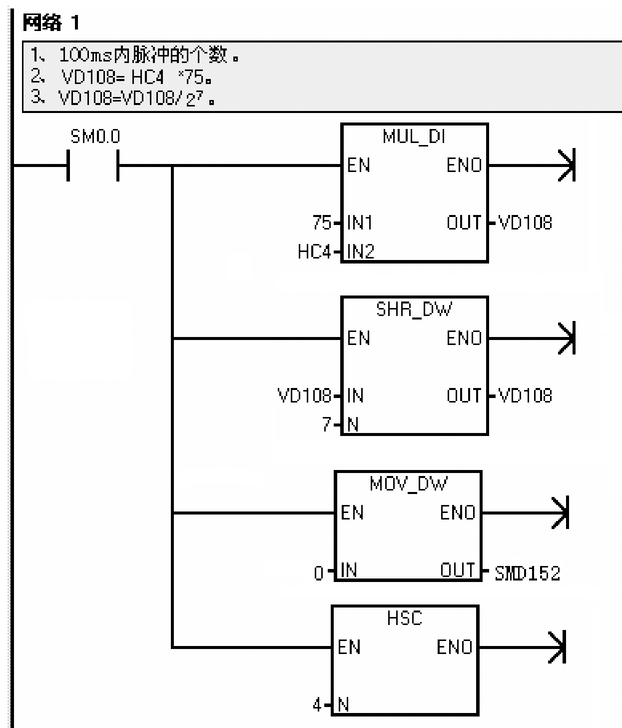


图 7-9　中断程序 INT_0

7.2　其他技巧/难点

7.2.1　安装 STEP7 注意事项

1）Window 7 不再支持 STEP7 5.4，要安装 STEP7 5.5 才行。

2）如果操作系统是 32 位 Window7，那么安装仿真软件必须是 PLCSIM V5.4 SP4 以上。

3）如果操作系统是 64 位 Window7，那么安装仿真软件必须是 PLCSIM V5.4 SP5 以上。

4）对于最近推出的新模块 STEP7 5.4 已不再支持，所以建议安装 STEP7 5.5（或以上）版本（因为西门子已经不升级 STEP7 5.4 了）。

5）无论是 Window7 还是 WindowXP 系统的 HOME 版都不能安装西门子的大型软件（S7-200 的除外）。

6）安装 STEP7 时，最好关闭监控和杀毒软件。

7）若电脑安装有监控软件（如百度监控、金山监控），则可能无法安装仿真软件 PLCSIM，处理办法是先卸载这些监控软件，待安装完仿真 PLCSIM 之后再安装卸载了的监控软件。

8）软件的存放目录中不能有汉字。例如将软件存放在“D：/软件/STEP 7”目录中就不能安装。此时弹出“SSF 文件错误”的信息。

9）在安装 STEP7 的过程中出现提示“请重新启动 Windows”字样时，可能是 360 安全软件作用的结果，重启电脑是可行的，如果读者不选择重启电脑。可以做如下操作：

在 Windows 的菜单命令下，单击“开始”→“运行”，在运行对话框中输入“regedit”，打开注册表编辑器。

选中注册表中的 HKEY_LOCAL_MACHINE \ Sysytem \ CurrentControlset \ Control” 中的“Session manager”，删除右侧窗口的“PendingFileRenameOperations”。

10）西门子软件的推荐安装顺序：

① 首先安装 STEP7。

② 再安装 WinCC。

③ 最后安装 WinCC Flexible。

这是个推荐顺序，不遵守则可能出错。

7.2.2 创建和使用 S7-200 PLC 的库函数

【例 7-3】将子程序表达算式 Ly =（La - Lb）× Lx，定义成库函数。

【解】

1）首先打开子程序“SBR_0”，子程序的上方是变量表。

2）在变量表中，输入如图 7-10 所示的参数。

	符号	变量类型	数据类型	注释
	EN	IN	BOOL	
LW0	La	IN	INT	
LW2	Lb	IN	INT	
LW4	Lx	IN	INT	
		IN		
		IN_OUT		
LD6	Ly	OUT	DINT	
		OUT		

图 7-10　变量表

3）再在子程序中输入如图 7-11 所示的程序。

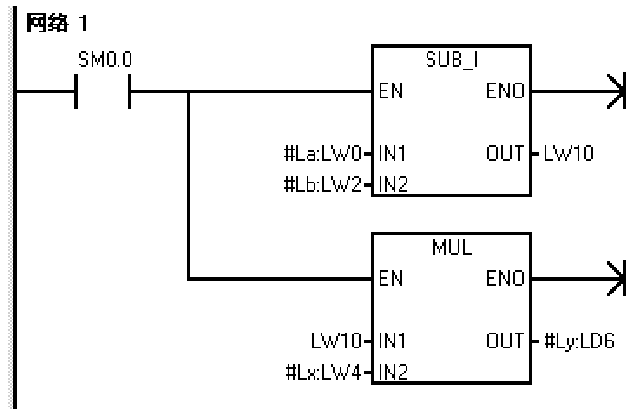


图 7-11　子程序

【关键点】 LW0、LW2、LW4 的数据类型是“INT”，变量类型是“输入”（IN）；而 LD6 的数据类型是“DINT”，变量类型是“输出”（OUT），不能弄错。

4）创建库。在菜单栏中，单击“文件”→“新建库”，如图 7-12 所示，打开“创建库”界面，如图 7-13 所示，在“组件”选项卡中，选择已经创建好的程序，本例为“函数 1”，单击“添加”按钮。选中“属性”选项卡，如图 7-14 所示，输入库名“函数 1”，再单击“浏览”按钮，弹出如图 7-15 所示的界面，单击“保存”按钮，保存库文件。回到图 7-13 所示的界面，单击“确定”按钮，完成创建库。



图 7-12　“创建库”界面（1）



图 7-13　“创建库”界面（2）

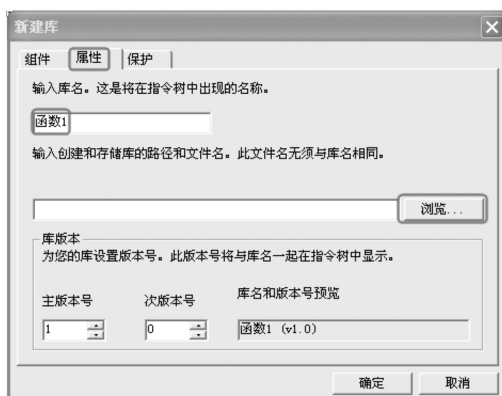


图 7-14 “创建库”界面（3）

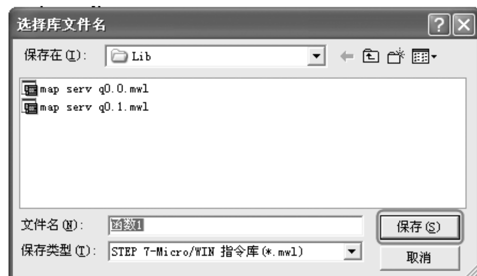


图 7-15 保存“库文件”

5）添加库文件。在菜单栏中，单击“文件”→“添加/删除”，在图 7-16 所示。在图 7-17 所示界面中，单击“添加”按钮，弹出如图 7-18 所示的界面，选择“函数 1”文件，单击“确定”按钮，此时“函数 1”已经添加到“库”中。

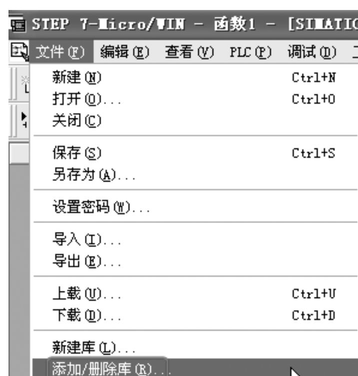


图 7-16 添加库文件（1）

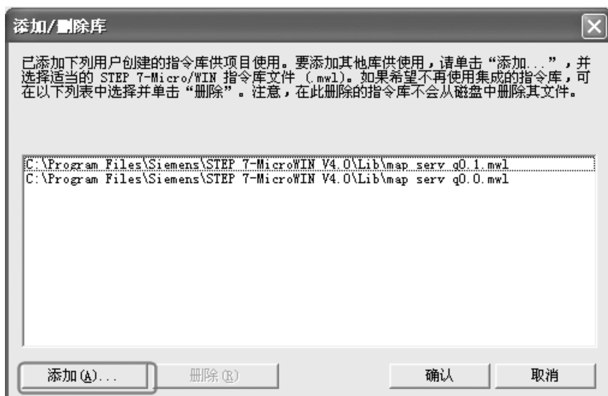


图 7-17 添加库文件（2）

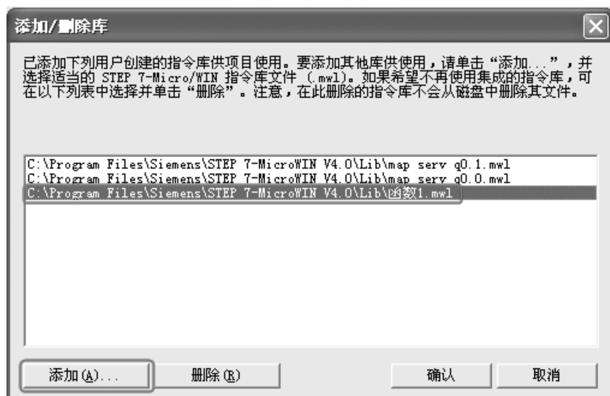


图 7-18 添加库文件（3）

6）查看“库文件”。在“项目树”中，展开“库”，可以看到“函数1”已经添加到“库”中，如图7-19所示。

【关键点】

① 一个已存在的程序项目，只有子程序、中断程序可以被创建为指令库，主程序不能被创建成库。

② 如果不小心将存放的库函数删除，则以后不能被成功调用。

7）调用程序。在主程序中调用库函数，如图7-20所示。

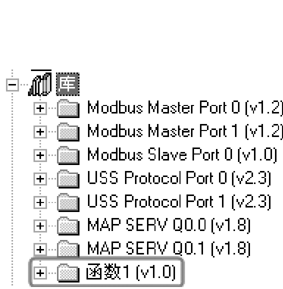


图7-19 查看“库文件”

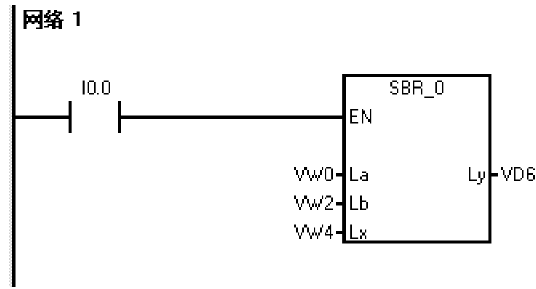


图7-20 调用程序

7.2.3 指针的应用

间接寻址是指用指针来访问存储区数据。指针以双字的形式存储其他存储区的地址。只能用V存储器、L存储器或者累加器寄存器（AC1、AC2、AC3）作为指针。要建立一个指针，必须以双字的形式，将需要间接寻址的存储器地址移动到指针中。指针也可以为子程序传递参数。

S7-200允许指针访问以下存储区：I、Q、V、M、S、AI、AQ、SM、T（仅限于当前值）和C（仅限于当前值）。无法用间接寻址的方式访问位地址，也不能访问HC或者L存储区。

要使用间接寻址，应该用“&”符号加上要访问的存储区地址来建立一个指针。指令的输入操作数应该以“&”符号开头来表明是存储区的地址，而不是将其内容移动到指令的输出操作数（指针）中。

当指令中的操作数是指针时，应该在操作数前面加上“＊”号。如图7-21所示，输入＊AC1指定AC1是一个指针，MOVW指令决定了指针指向的是一个字长的数据。在本例中，存储在VB200和VB201中。

例如：MOVD &VB200，AC1。其含义是将VB200的地址（VB200的起始地址）作为指针存入AC1中。MOVW ＊AC1，AC0。其含义是将AC1指向的字送到AC0中去。

如图7-21所示，输入＊AC1指定AC1是一个指针，MOVW指令决定了指针指向的是一个字长的数据。在本例中，存储在VB200和VB201中。

【例7-4】 将非线性的表格存放在VW0开始的100字中，表格偏移量（表格中字的序号，第一个字序号为0）在VD200中，用间隔寻址将表格中相对于偏移量的数据传送到VW210中去。

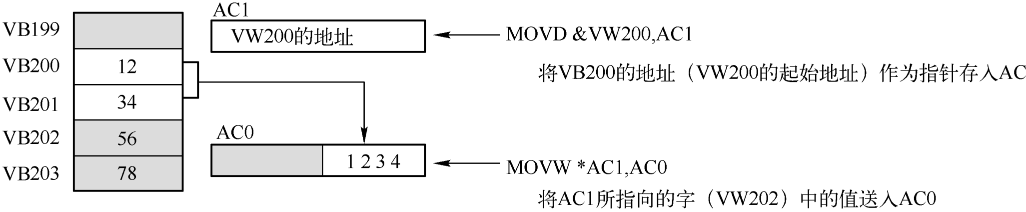


图 7-21　指针的使用

【解】

梯形图程序如图 7-22 所示。

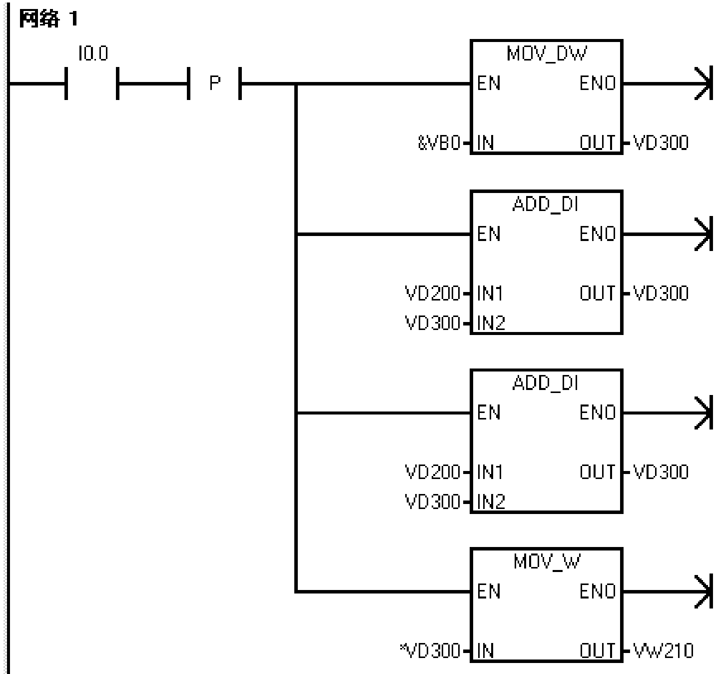


图 7-22　梯形图

7.2.4　自定义数据类型 UDT 的应用

自定义数据类型是个难点，对于初学者更加如此。虽然在前面章节已经提到自定义数据类型，但由于前述章节的部分知识点所限，前面章节没有讲解应用。以下用一个例子介绍自定义数据类型的应用，以便帮助读者进一步理解自定义数据类型。

【例 7-5】有一台电动机，要对其进行起停控制，而且还要采集其温度，请设计此控制系统，并编写控制程序（要求使用自定义数据类型）。

【解】

1）首先新建一个项目，命名为“UDT”，并插入数据块“DB1”和自定义数据“UDT1”，如图 7-23 所示。

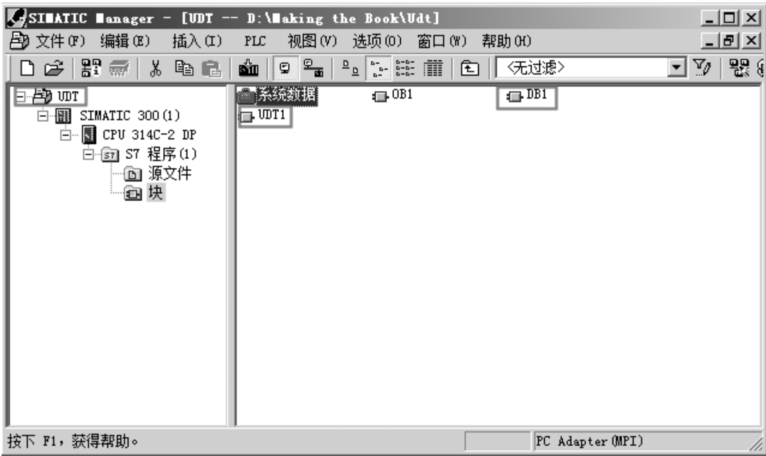


图 7-23　新建项目“UDT”，插入“DB1”和“UDT1”

2）打开 UDT 的属性，将其符号命名为“Motor”，单击“确定”按钮，如图 7-24 所示。再打开 UDT1，在其中创建如图 7-25 所示的数据结构，“Motor”是一个自定的数据类型，共有 4 个参数，这个新自定的数据类型，可以在程序中使用了。

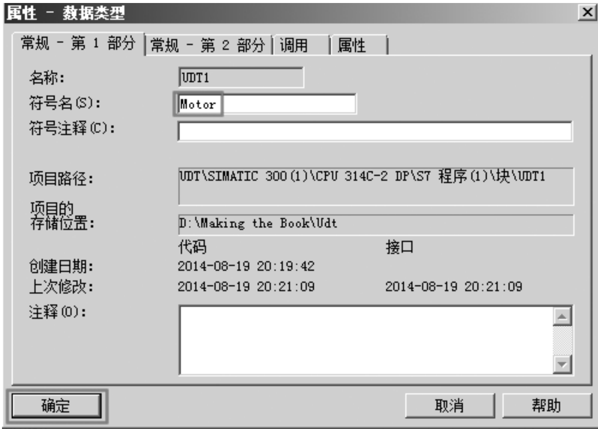


图 7-24　将 UDT 符号命名为“Motor”

地址	名称	类型	初始值	注释
0.0		STRUCT		
+0.0	Starting	BOOL	FALSE	启动
+0.1	Stoping	BOOL	FALSE	停止
+0.2	Mout	BOOL	FALSE	电动机
+2.0	Temperature	INT	20	温度
=4.0		END_STRUCT		

图 7-25　设置 UDT1 中的参数

3）打开 DB1 的属性，将其符号命名为“Motora”，单击“确定”按钮，如图 7-26 所示。再打开 DB1，如图 7-27 所示，创建参数“Motor1”，其数据类型为 UDT 的数据类型“Motor”。

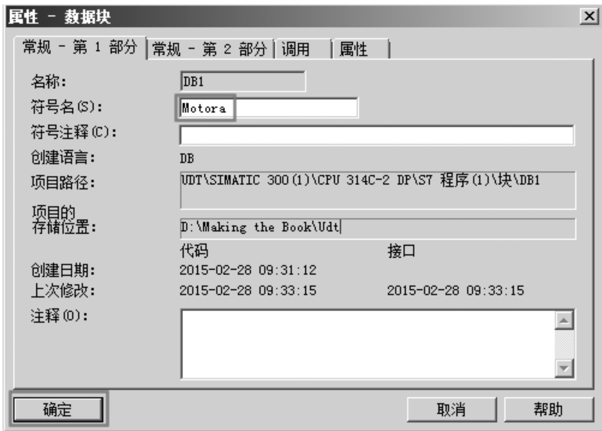


图 7-26　将 DB1 符号命名为“Motora”

地址	名称	类型	初始值	注释
0.0		STRUCT		
+0.0	Motor1	"Motor"		
=4.0		END_STRUCT		

图 7-27　设置 DB1 中的参数

4）编写如图 7-28 所示的梯形图程序。梯形图中用到了自定义数据类型。

程序段 1：电动机

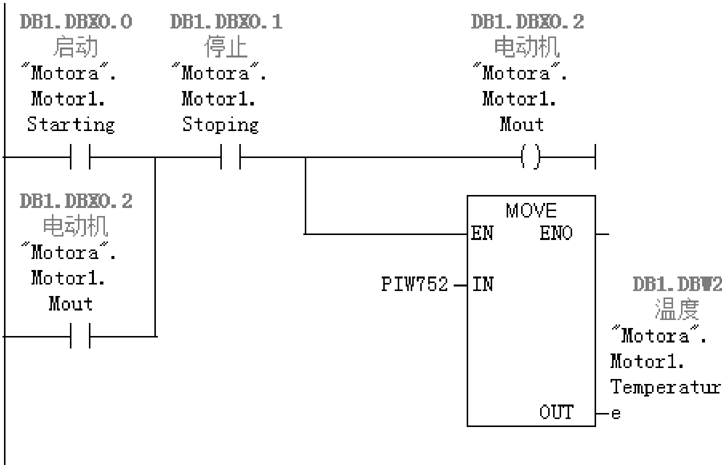


图 7-28　梯形图

第 8 章　西门子 PLC 工程应用案例

本章介绍 5 个典型的可编程序控制器系统的集成过程案例，供读者模仿学习。由于本章是前面章节内容的综合应用，因此本章的例题有一定的难度。

8.1　压力数据采集 PLC 控制系统

【例 8-1】某设备的控制器由 2 台 CPU226CN、3 台 EM231CN（8 通道）和 1 台 EM231（4 通道）组成，用于采集压力数据，系统共有 28 个压力信号需要采集。要求如下：

1）试设计此系统，画出原理图。

2）只需要采集压力数据，数据处理由上位机完成。

3）编写程序。

8.1.1　系统软硬件配置

1. 主要软硬件

① 2 台 CPU 226CN。

② 4 台 EM231CN。

③ 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

④ 1 根 PC/PPI 电缆。

2. PLC 的 I/O 分配

PLC 的 I/O 分配见表 8-1。

表 8-1　PLC 的 I/O 分配表

名　称	符　号	输　入　点	名　称	符　号	输出点
起动按钮	SB1	I0.0			
停止按钮	SB2	I0.1			
急停按钮	SB3	I0.2			

3. 控制系统的接线

控制系统的接线如图 8-1 所示。主站上采集 16 路模拟量信号，从站采集 12 路模拟量信号。

8.1.2　编写控制程序

此题目有两种解法。第一种方法使用 Modbus 通信，这种方法简单，梯形图如图 8-2 和图 8-3 所示。

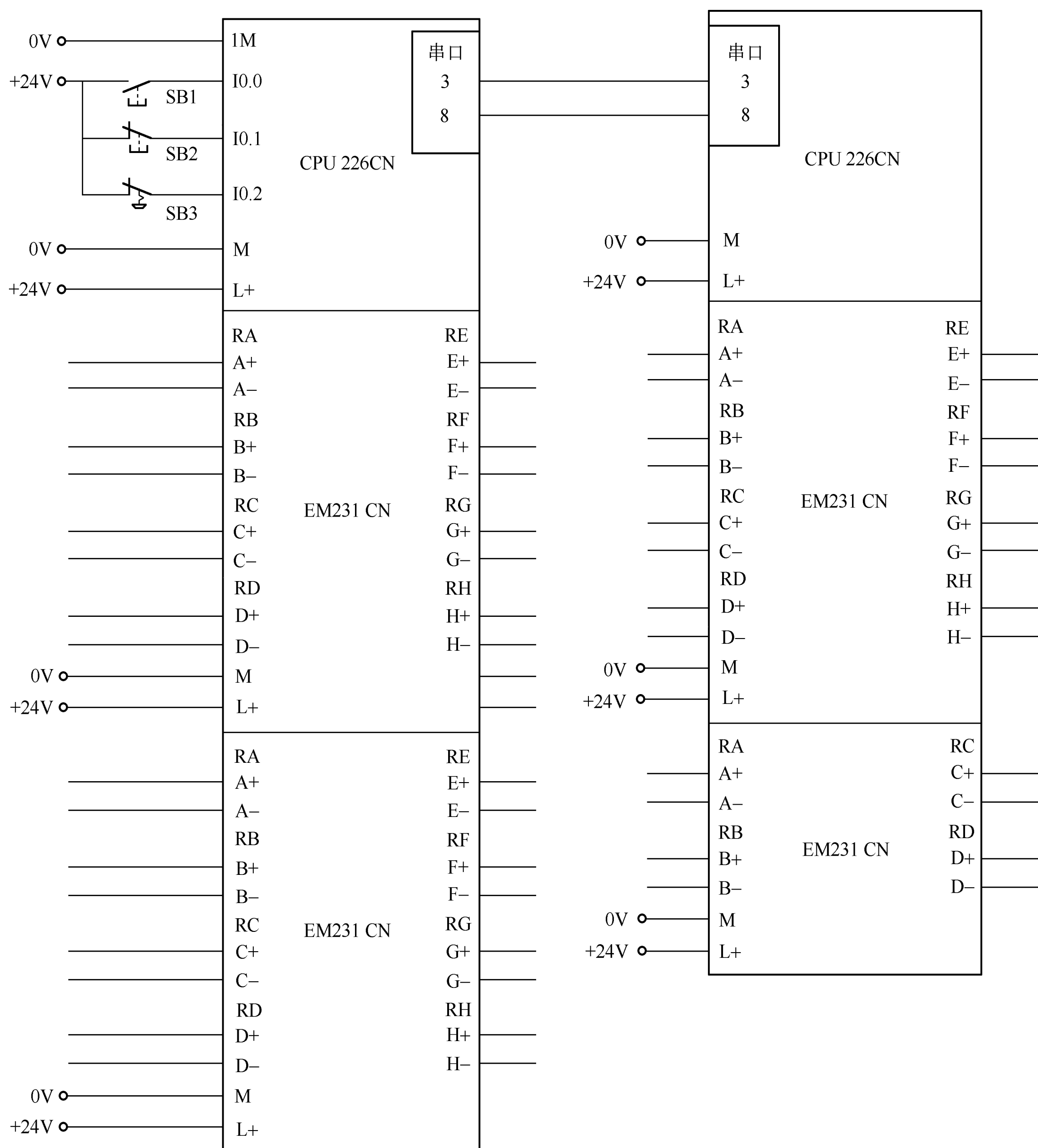
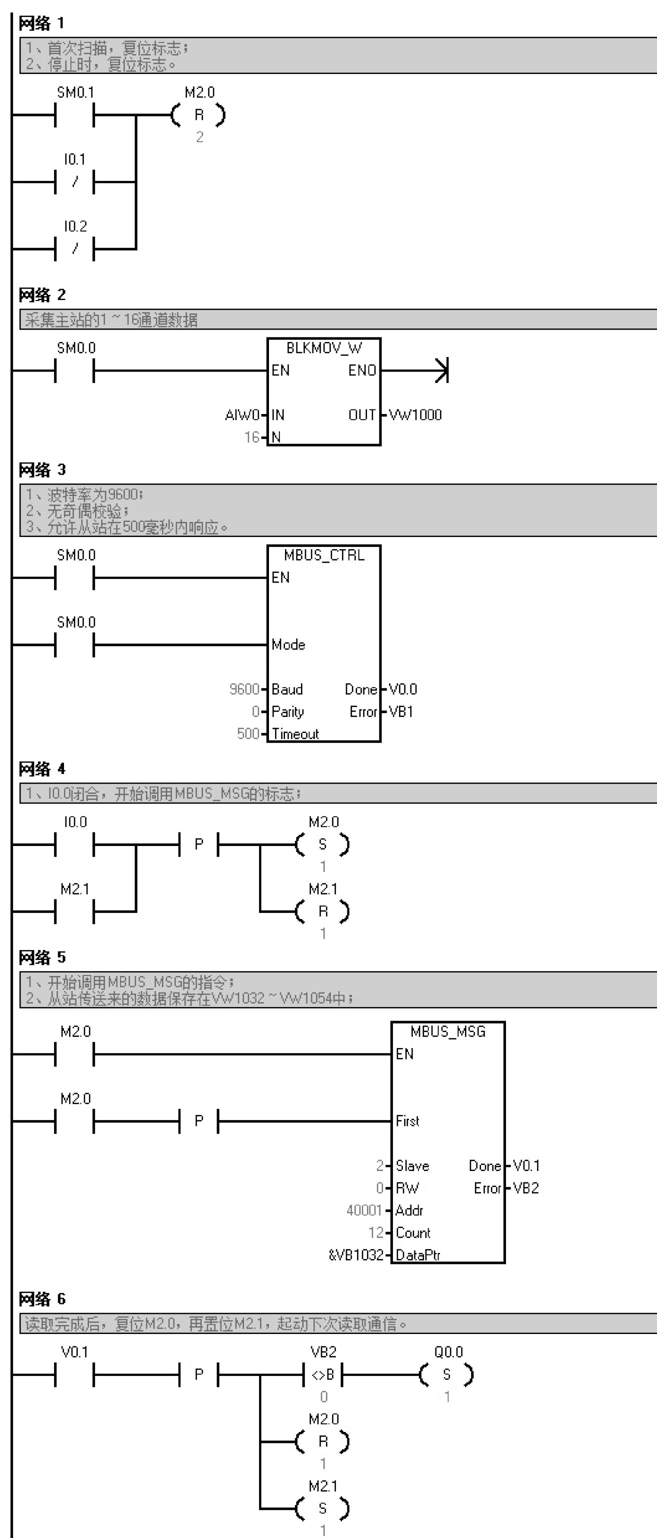


图 8-1　PLC 接线图

第二种方法采用 PPI 通信，由于 PPI 通信一次最多传送 16 个字节，而 从站的 12 路模拟量信号，占 24 个字节，需要 2 次才能传送完 12 路模拟量信号。PPI 向导在前面章节已经讲述，不再重复，但其中关键的一步如图 8-4 所示。

编写梯形图程序，如图 8-5、图 8-6 所示。

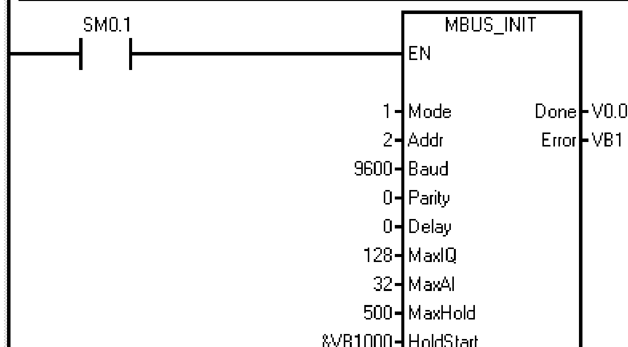


网络 1
1、首次扫描，复位标志；
2、停止时，复位标志。
SM0.1
M2.0
R
2
I0.1
I0.2
网络 2
采集主站的1 ~ 16通道数据
SM0.0
BLKMOV_W
EN
ENO
AIW0
IN
OUT
VW1000
16
N
网络 3
1、波特率为9600；
2、无奇偶校验；
3、允许从站在500毫秒内响应。
SM0.0
MBUS_CTRL
EN
SM0.0
Mode
9600
Baud
Done
V0.0
0
Parity
Error
VB1
500
Timeout
网络 4
1、I0.0闭合，开始调用MBUS_MSG的标志；
I0.0
P
M2.0
S
1
M2.1
M2.1
R
1
网络 5
1、开始调用MBUS_MSG的指令；
2、从站传送来的数据保存在VW1032 ~ VW1054中；
M2.0
MBUS_MSG
EN
M2.0
P
First
2
Slave
Done
V0.1
0
RW
Error
VB2
40001
Addr
12
Count
&VB1032
DataPtr
网络 6
读取完成后，复位M2.0，再置位M2.1，起动下次读取通信。
V0.1
P
VB2
<>B
0
Q0.0
S
1
M2.0
R
1
M2.1
S
1

图 8-2　梯形图（主站）

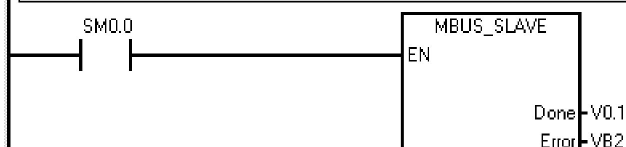
网络 1

1、Modbus通信模式。
2、从站地址为2。
3、无奇偶校验。
4、读取的起始地址为VB1000。



网络 2

每个扫描循环必须要调用MBUS_SLAVE。



网络 3

把AIW0开始的12个字传送到VW1000开始12个字中。

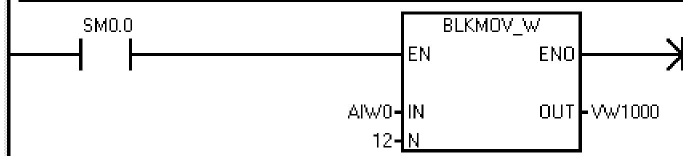
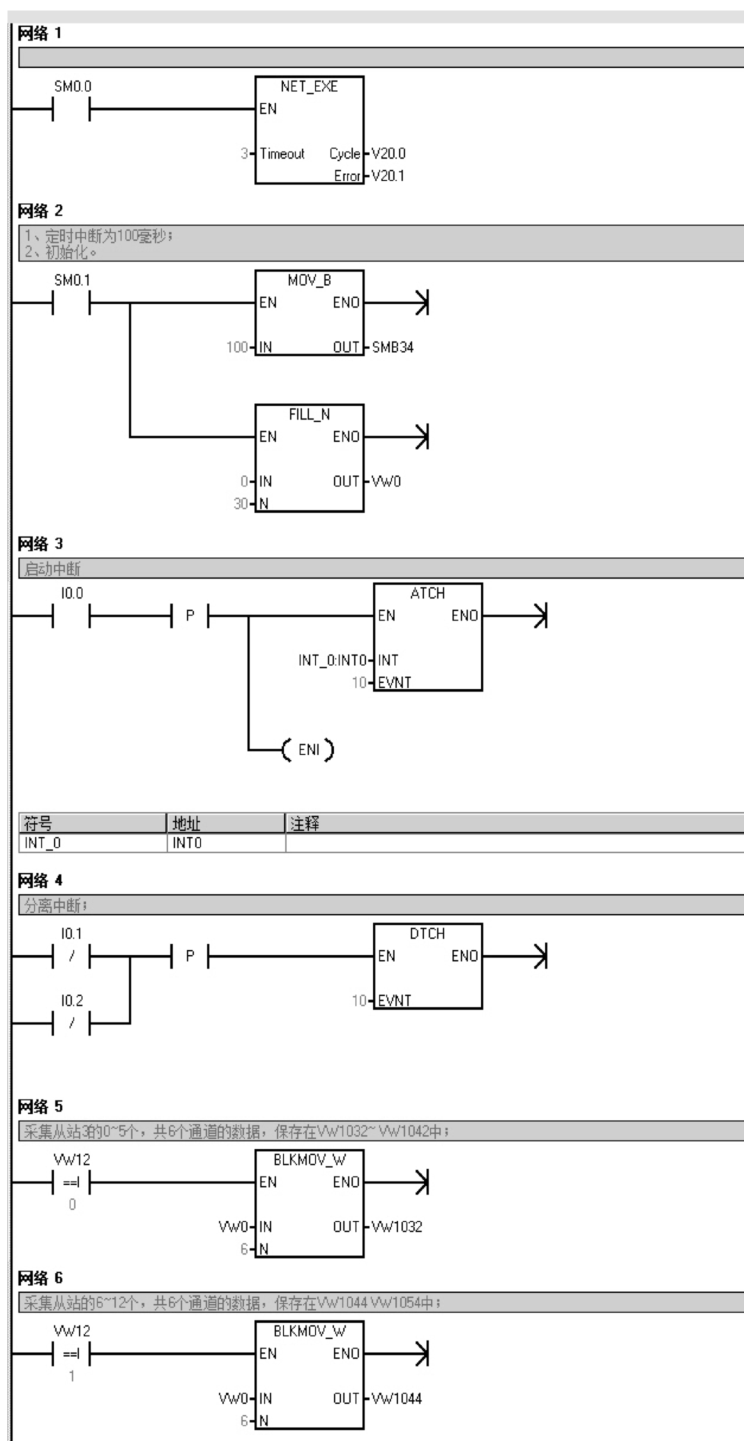


图 8-3　梯形图（从站）



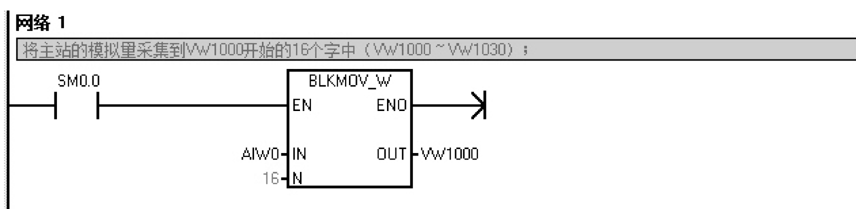
图 8-4　指令向导



a)

图 8-5　主站梯形图

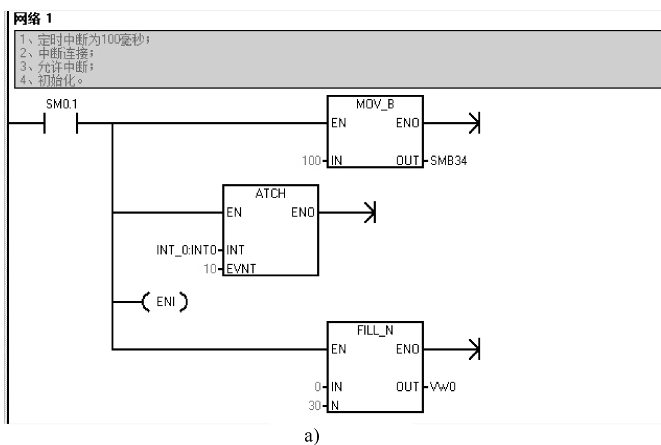
a）主程序



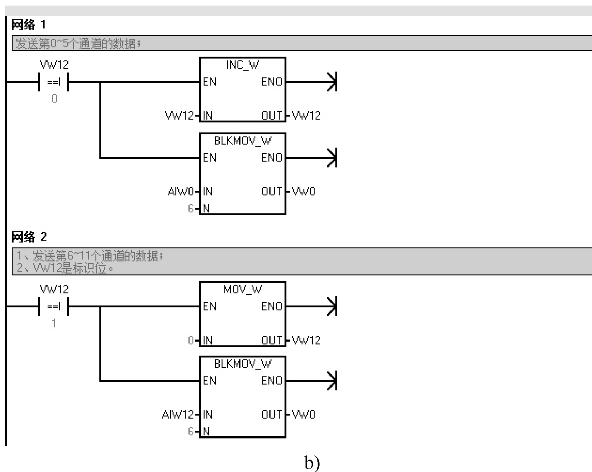
b)

图 8-5　主站梯形图（续）

b）中断程序



a)



b)

图 8-6　从站梯形图

a）主程序　b）中断程序

8.2　物料搅拌机 PLC 控制系统

【例 8-2】 有一物料搅拌机，主机由 7.5 kW 的电动机带动，根据物料不同，要求速度在一定的范围内无极可调，且要求物料太多或者卡死设备时系统能及时保护；机器上配有冷却水，冷却水温度不能超过 50℃，而且冷却水管不能堵塞，也不能缺水，堵塞和缺水将造成严重后果，冷却水的动力不在本设备上，水温和压力要可以显示。

8.2.1　系统软硬件配置

1. 系统的软硬件

① 1 台 CPU226CN。

② 1 台 EM231。

③ 1 台 TP－177B。

④ 1 台 MM440。

⑤ 1 台压力传感器（含变送器）。

⑥ 1 台温度传感器（含变送器）。

⑦ 1 套 STEP7-Micro/WIN V4 SP9。

⑧ 1 套 WinCC Flexible 2008 SP4。

2. PLC 的 I/O 分配

PLC 的 I/O 分配表见表 8-2。

表 8-2　PLC 的 I/O 分配表

序　号	地　址	功　能	序　号	地　址	功　能
1	I0.0	起动	9	AIW2	压力
2	I0.1	停止	10	VD0	速度
3	I0.2	急停	11	VD22	电流值
4	M0.0	起/停	12	VD50	转速设定
5	M0.1	缓停	13	VW60	温度显示
6	M0.2	起/停	14	VW62	压力显示
7	M0.3	快速停			
8	AIW0	温度			

3. 原理图

系统的原理图如图 8-7 所示。

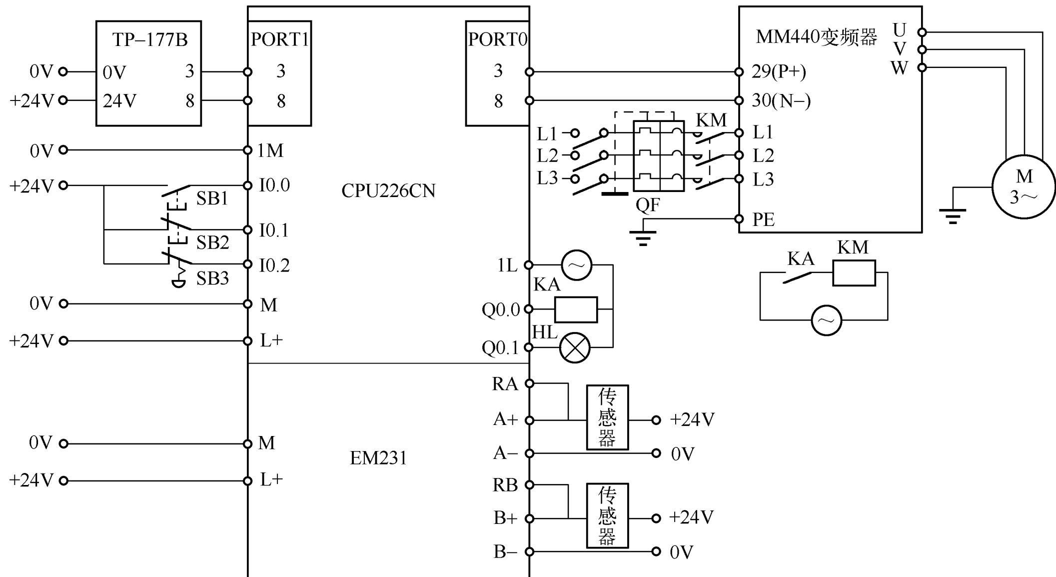


图 8-7　原理图

4. 变频器参数设定

变频器的参数设置见表 8-3。

表 8-3　变频器的参数设置

序 号	变频器参数	出 厂 值	设 定 值	功 能 说 明
1	P0005	21	27	显示电流值
2	P0304	380	380	电动机的额定电压（380 V）
3	P0305	19.7	19.7	电动机的额定电流（19.7 A）
4	P0307	7.5	7.5	电动机的额定功率（7.5 KW）
5	P0310	50.00	50.00	电动机的额定频率（50 Hz）
6	P0311	1440	1400	电动机的额定转速（1400 r/min）
7	P0700	2	5	选择命令源（COM 链路的 USS 设置）
8	P1000	2	5	频率源（COM 链路的 USS 设置）
9	P2010	6	6	USS 波特率（6 – 9600）
10	P2011	0	18	站点的地址
11	P2012	2	2	PZD 长度
12	P2013	127	127	PKW 长度（长度可变）
13	P2014	0	0	看门狗时间

8.2.2　编写控制程序

温度传感器的最大测量量程是 100℃，其对应的数字量是 32000，所以 AIW0 采集的数字量除 32000 再乘 100（即 AIW0 ÷ 320）就是温度值；压力传感器的最大量程是 10000Pa，其对应的数字量是 32000，所以 AIW2 采集的数字量除 32000 再乘 10000（即 AIW2 × 10 ÷ 32）就是压力值；程序中的 VD0 是额定频率的百分比，由于电动机的额定转速是 1400r/min，假设电动机转速是 700 r/min，那么 VD0 = 50.0，所以 VD0 = VD50 ÷ 1400 × 100(VD50 ÷ 140)。

程序如图 8-8 所示。

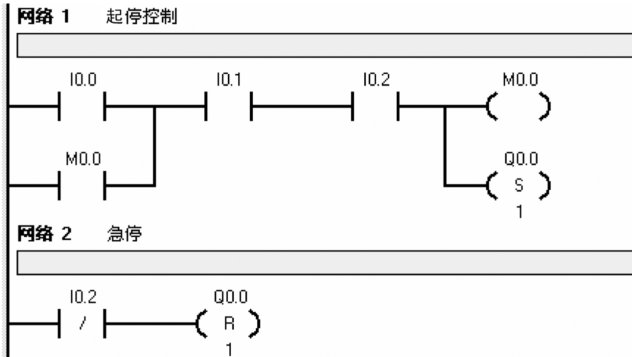
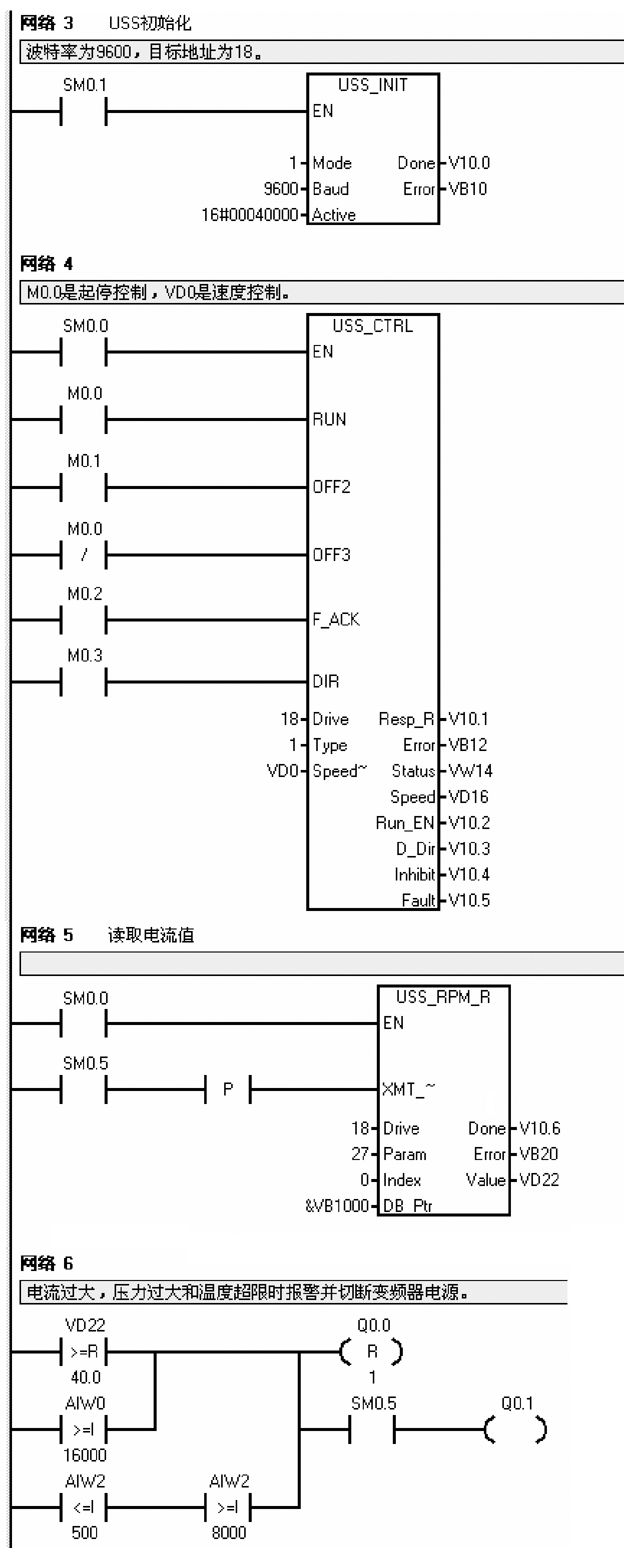


图 8-8　程序



网络 3 USS初始化
波特率为9600，目标地址为18。
SM0.1
USS_INIT
EN
1 Mode
9600 Baud
16#00040000 Active
Done V10.0
Error VB10
网络 4
M0.0是起停控制，VD0是速度控制。
SM0.0
USS_CTRL
EN
M0.0
RUN
M0.1
OFF2
M0.0
OFF3
M0.2
F_ACK
M0.3
DIR
18 Drive
1 Type
VD0 Speed~
Resp_R V10.1
Error VB12
Status VW14
Speed VD16
Run_EN V10.2
D_Dir V10.3
Inhibit V10.4
Fault V10.5
网络 5 读取电流值
SM0.0
USS_RPM_R
EN
SM0.5
P
XMT_~
18 Drive
27 Param
0 Index
&VB1000 DB_Ptr
Done V10.6
Error VB20
Value VD22
网络 6
电流过大，压力过大和温度超限时报警并切断变频器电源。
VD22
>=R
40.0
AIW0
>=I
16000
AIW2
<=I
500
AIW2
>=I
8000
Q0.0
R
1
SM0.5
Q0.1

图 8-8 程序（续）

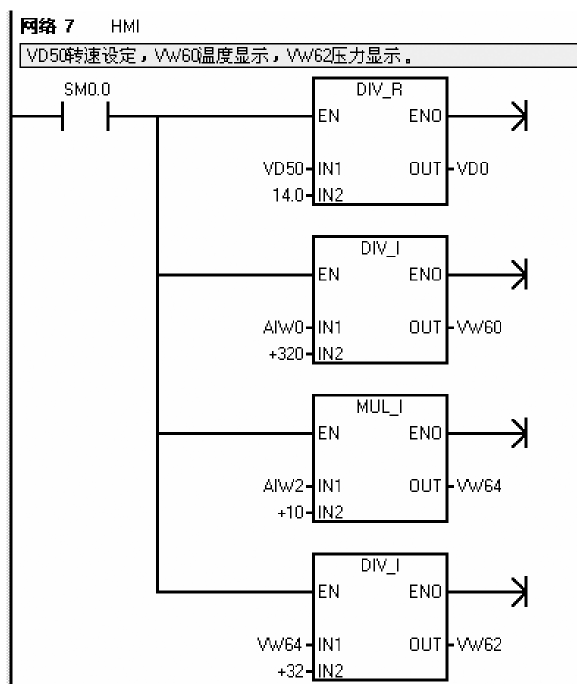


图 8-8 程序（续）

注意：压力和温度显示都是整数，若要显示为实数，程序要稍加改动；此外，关于触摸屏部分在此不作说明，请读者自行完成。

8.3 定长剪切机 PLC 控制系统

【例 8-3】用 PLC 实现钢板定长剪切机的控制。系统工作过程描述如下：

薄钢板定长剪切机的输送机由伺服系统控制输送长度，剪切机采用切刀切割。切刀的初始位置在上方（即气缸活塞位于上极限位置），当输送机输送指定的长度后，切刀向下运动，完成切割并延时 0.5 s 后回到初始位置，完成一个工作循环。薄钢板定长剪切机的结构如图 8-9 所示。

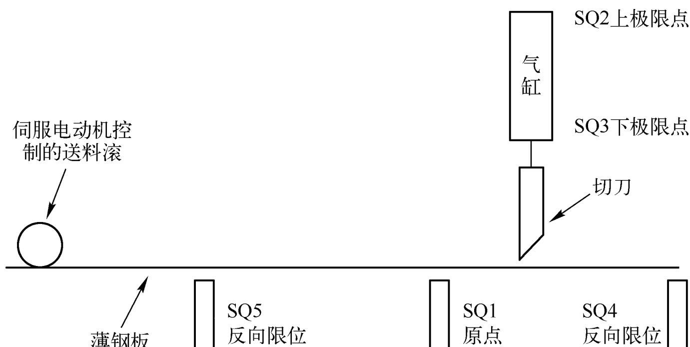


图 8-9 薄钢板定长剪切机的工作示意图

其控制任务要求如下：

1）有手动/自动转换开关 SA1。手动模式时，可以手动对切刀进行上行和下行控制。手动按钮分别是 SB5、和 SB6。

2）自动模式时，当切刀在初始位置，按下“起动”按钮 SB1，输送机送料→送料完成→切刀下行到下极限位置延时 0.5 s→回到初始位置，如此循环。

3）在自动模式时，按下“复位”按钮 SB2，切刀回到初始位置，送料机构将料送到原点（SQ1），复位完成时，有指示灯闪亮。当按下“停止”按钮 SB3 时，系统完成一个循环后，停止到初始位置，当按下“急停”按钮 SB4 时，立即停止。

4）每完成一次自动切割循环，计数值加 1。

8.3.1 系统软硬件配置

1. 系统软硬件

① 1 套 STEP7-Micro/WIN V4.0 SP9。

② 1 台伺服电动机的型号为 HF－KE13W1－S100。

③ 1 台伺服驱动器的型号为 MR－E－A。

④ 1 台 CPU224XPsi。

2. PLC 的 I/O 分配

PLC 的 I/O 分配见表 8-4。

表 8-4 I/O 分配表

输入			输出		
名称	代号	地址	名称	代号	地址
原点	SQ1	I0.0	高速输出		Q0.0
上限位	SQ2	I0.1	伺服 ON		Q0.1
下限位	SQ3	I0.2	方向控制		Q0.2
起动按钮	SB1	I0.3	气缸下行	YV1	Q0.3
复位按钮	SB2	I0.4	气缸上行	YV2	Q0.4
停止按钮	SB3	I0.5	复位显示	HL1	Q0.5
手动/自动转换按钮	SA1	I0.6			
急停按钮	SB4	I0.7			
手动上行按钮	SB5	I1.0			
手动下行按钮	SB6	I1.1			
正向限位	SQ4	I1.2			
反向限位	SQ5	I1.3			
伺服准备好	RD	I1.4			

定长剪切机的接线图如图 8-10 所示。

【关键点】 连线时，务必注意 PLC 与伺服驱动器必须共地，否则不能形成回路；此外，由于三菱的伺服驱动器只能接受 NPN 信号，因此在选择 PLC 时，要选用 NPN 输出的 PLC，西门子的 S7-200 PLC 目前只有一款（CPU 224XPsi）是 NPN 输出。若读者一定要选用 PNP 输出 PLC，则需要将信号进行转换，通常处理信号比较麻烦而且效果要差一些。

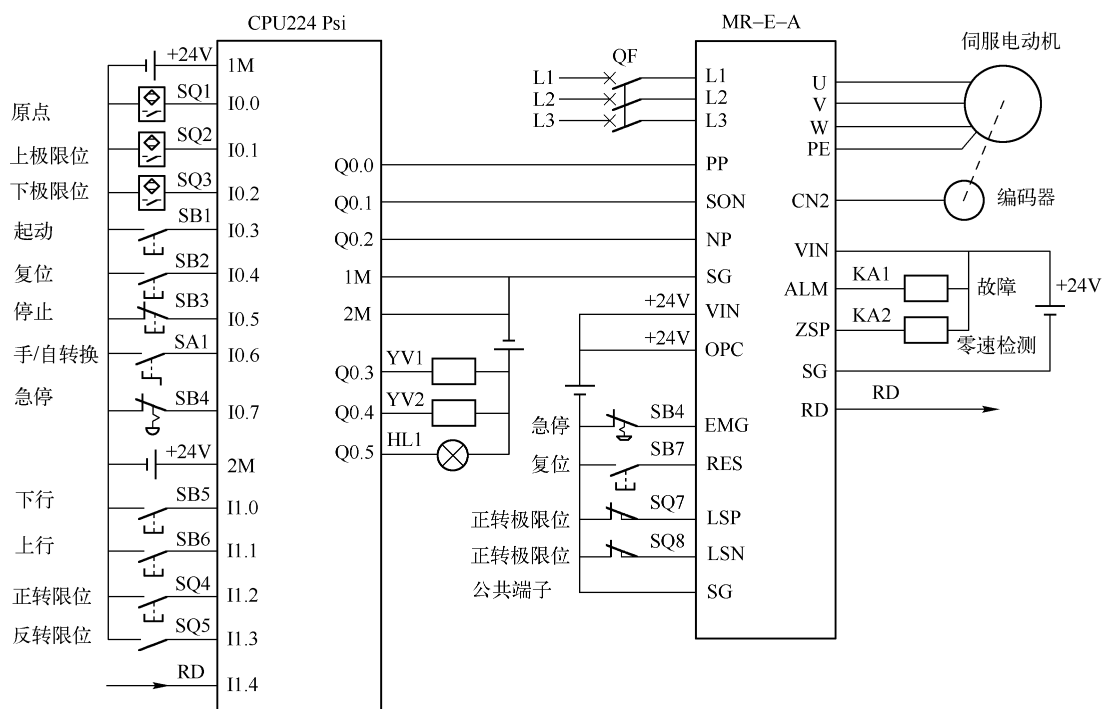


图 8-10　定长剪切机的接线图

3. 伺服电动机的参数设定

用 PLC 的高速输出点控制伺服电动机除了接线比用 PLC 的高速输出点控制步进电动机复杂外，后者不需要设置参数（细分的设置除外），而要伺服系统正常运行，必须对伺服系统进行必要的参数设置。参数设置如下：

① P0 = 0000，含义是位置控制，不进行再生制动。

② P3 = 100，含义是齿轮比的分子。

③ P4 = 1，含义是齿轮比的分母。

④ P41 = 0，含义是伺服 ON、正行程限位和反行程限位都通过外部信号输入。

虽然伺服驱动器的参数很多，但对于简单的应用，只需要调整以上几个参数就足够了。

【关键点】设置完成以上参数后，不要忘记保存参数，伺服驱动器断电后，以上设置才起作用。此外，有的初学者编写程序时输入的脉冲数较少，而且齿轮比 P3/P4 又很小，发现系统运行后，伺服电动机并未转动，从而不知所措，其实伺服电动机已经旋转，只不过肉眼没有发现其转动，读者只要把输入的脉冲数增加到足够大，将齿轮比调大一些，就能发现伺服电动机旋转。

8.3.2　编写控制程序

如果用 PLS 指令编写运动控制程序，则比较麻烦，所幸西门子公司编写了运动控制指令库（MAP_SERV），使用次指令库，可以很方便实现相对运动、绝对运动、回原点和停止等功能，以下，对西门子的运动指令库的指令作简要介绍，以方便读者阅读程序。需要指出，此运动指令库不是 STEP7-Micro/WIN 的标准配置，需要另行购买和安装。

（1）已经被指令库占用的地址

西门子运动指令库，已经预定义了一些地址，见表 8-5。

表 8-5　预定义地址表

名　　称	MAP SERV Q0.0	MAP SERV Q0.1
脉冲输出	Q0.0	Q0.1
方向输出	Q0.2	Q0.3
参考点输入	I0.0	I0.1
所用的高速计数器	HC0	HC3
高速计数器预置值	SMD 42	SMD 142
手动速度	SMD 172	SMD 182

【关键点】 如果读者要使用运动指令库的“MAP SERV Q0.0”，那么 Q0.0 就作为高速输出使用，Q0.2 就作为方向信号使用，I0.0 作为参考点使用，不能作为它用。但是如果只使用了“MAP SERV Q0.0”，而没有使用“MAP SERV Q0.1”，那么 QO.1Q 和 0.3 可以由读者自行分配使用。

（2）编写程序

数据块如图 8-11 所示。主程序如图 8-12 所示。

```
VD100   10000
VD104   100000
VD108   1.0
VB200   2#1001                          //V200.0=1,V200.3=1
```

图 8-11　数据块

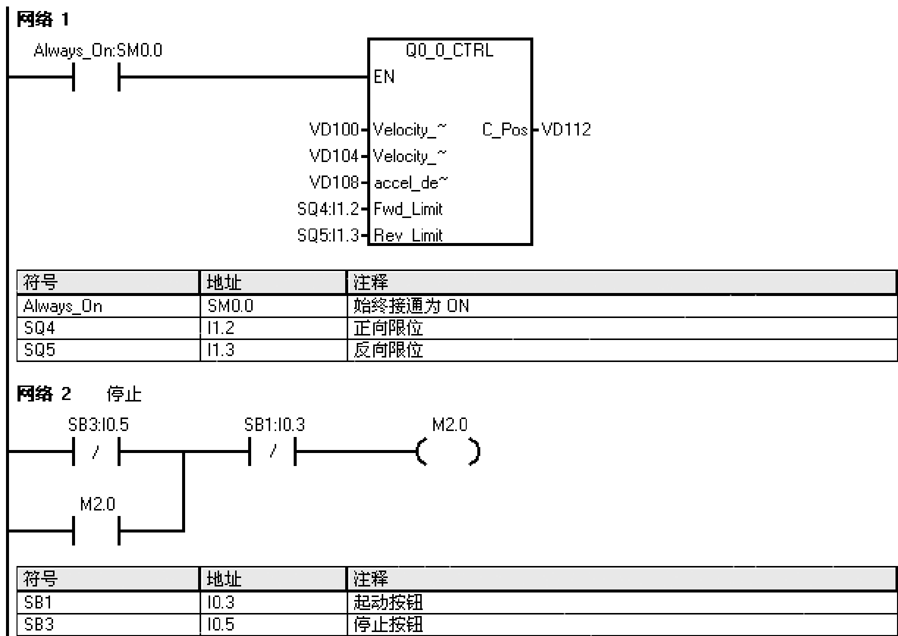
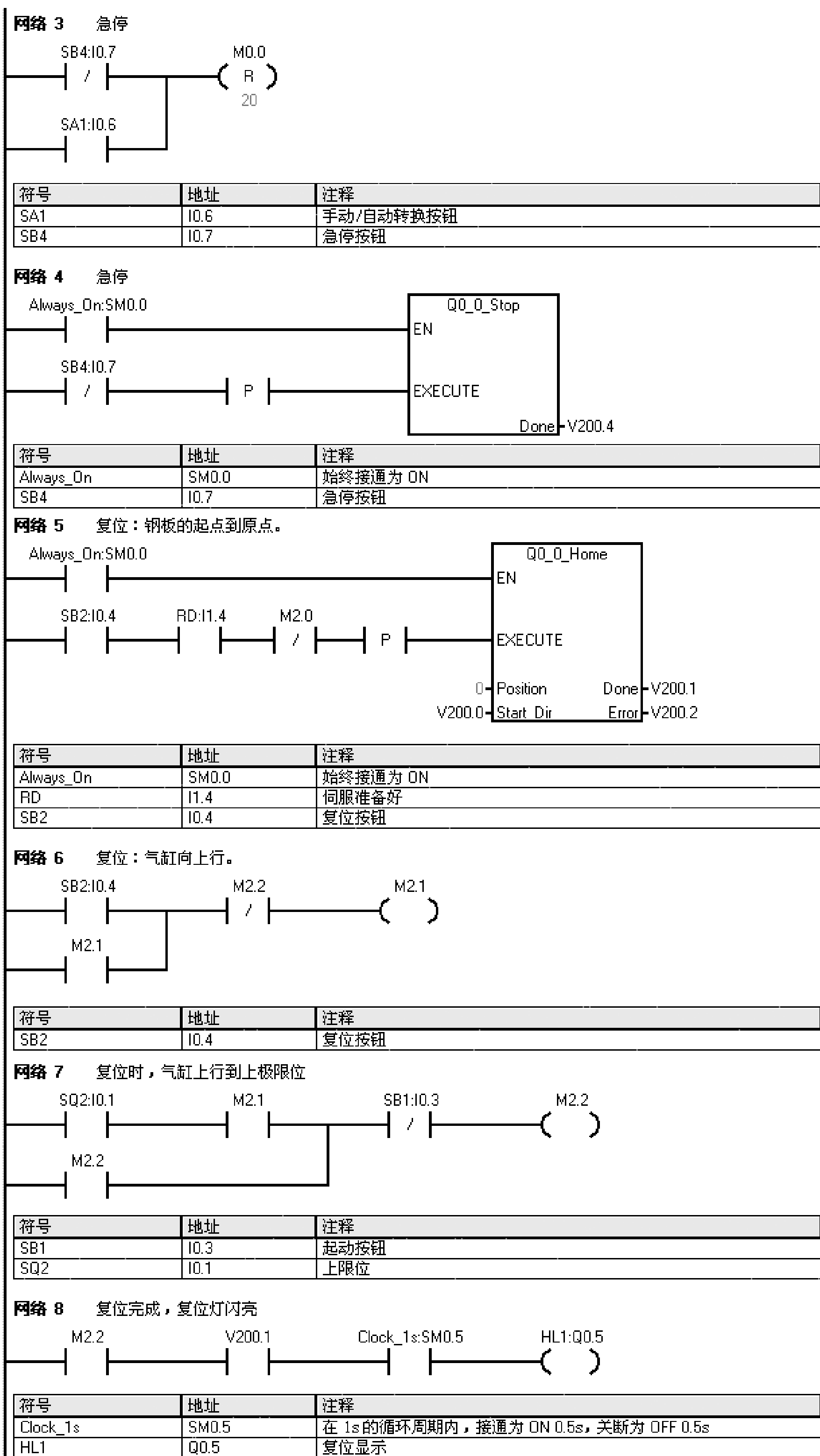


图 8-12　主程序



符号	地址	注释
SA1	I0.6	手动/自动转换按钮
SB4	I0.7	急停按钮

符号	地址	注释
Always_On	SM0.0	始终接通为 ON
SB4	I0.7	急停按钮

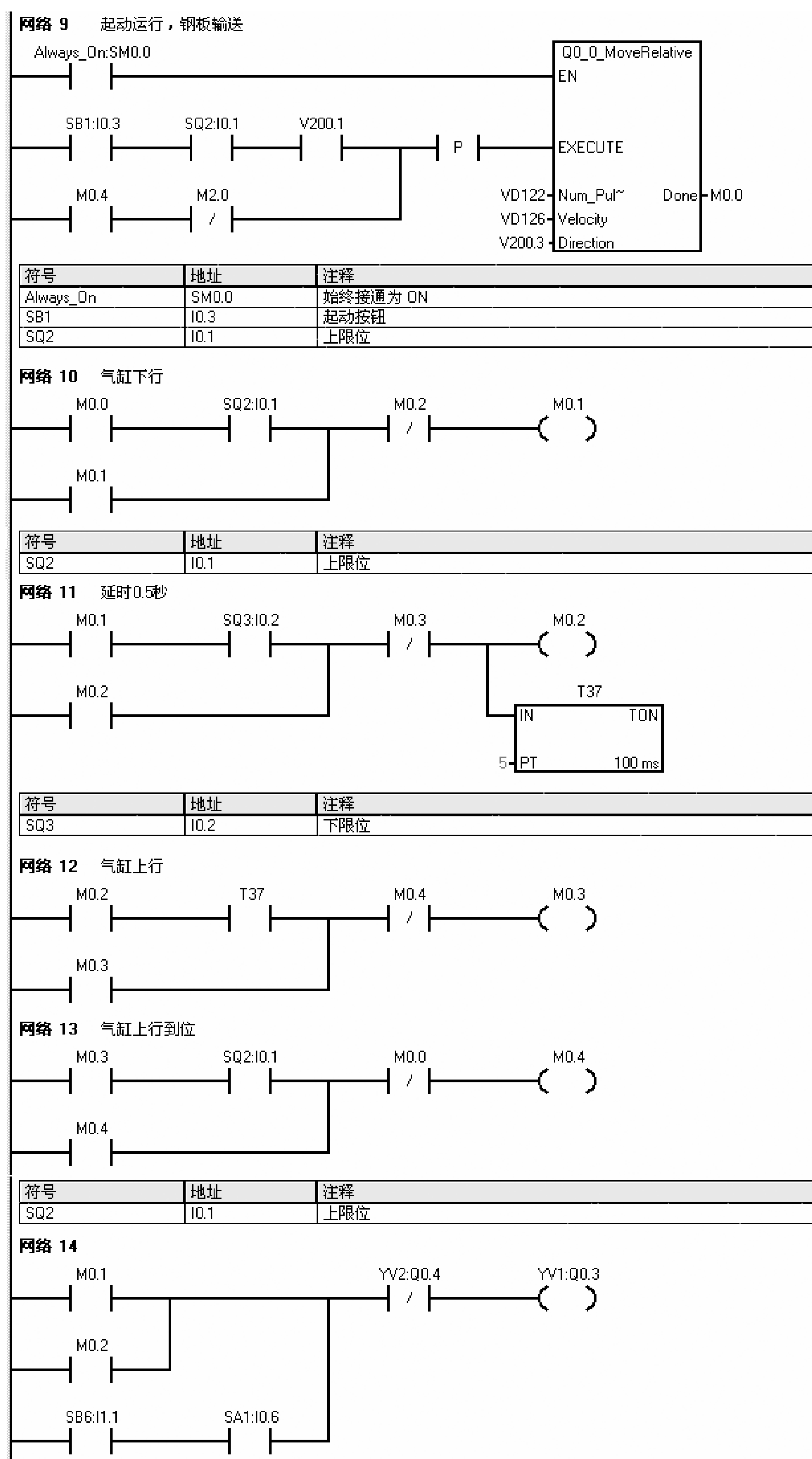
符号	地址	注释
Always_On	SM0.0	始终接通为 ON
RD	I1.4	伺服准备好
SB2	I0.4	复位按钮

符号	地址	注释
SB2	I0.4	复位按钮

符号	地址	注释
SB1	I0.3	起动按钮
SQ2	I0.1	上限位

符号	地址	注释
Clock_1s	SM0.5	在 1s的循环周期内，接通为 ON 0.5s，关断为 OFF 0.5s
HL1	Q0.5	复位显示

图 8-12　主程序（续）



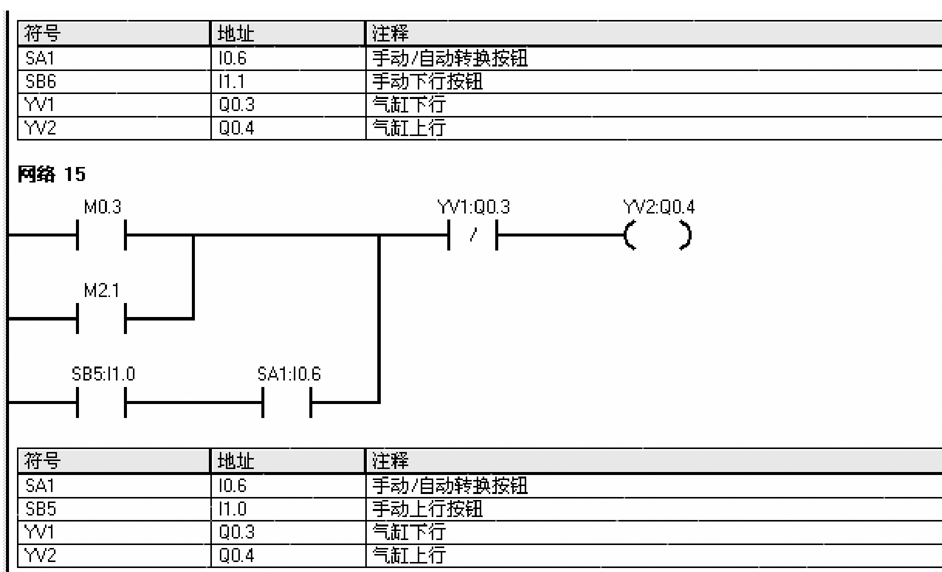
符号	地址	注释
Always_On	SM0.0	始终接通为 ON
SB1	I0.3	起动按钮
SQ2	I0.1	上限位

符号	地址	注释
SQ2	I0.1	上限位

符号	地址	注释
SQ3	I0.2	下限位

符号	地址	注释
SQ2	I0.1	上限位

图 8-12 主程序（续）



符号	地址	注释
SA1	I0.6	手动/自动转换按钮
SB6	I1.1	手动下行按钮
YV1	Q0.3	气缸下行
YV2	Q0.4	气缸上行

符号	地址	注释
SA1	I0.6	手动/自动转换按钮
SB5	I1.0	手动上行按钮
YV1	Q0.3	气缸下行
YV2	Q0.4	气缸上行

图 8-12　主程序（续）

8.4　啤酒灌装线系统 PLC 控制系统

【例 8-4】有两条啤酒生产线由一台 S7-300 控制。如果啤酒线起动运行时，当啤酒瓶到位后，传送带停止转动，开始灌装啤酒，装满后，传送带转动，当啤酒瓶到达灌装线尾部时，系统自动计数，并显示。1 号线示意图如图 8-13 所示。

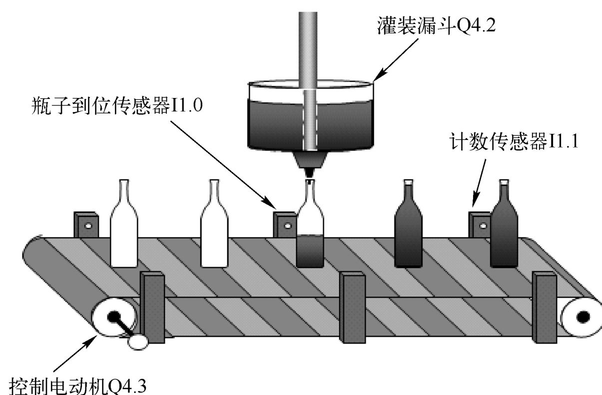


图 8-13　1 号线示意图

2 号线示意图如图 8-14 所示。

面板示意图如图 8-15 所示。请设计此系统，并编写梯形图程序。

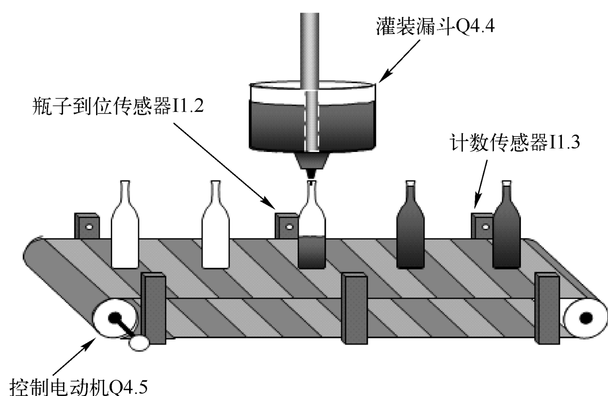


图 8-14　2 号线示意图

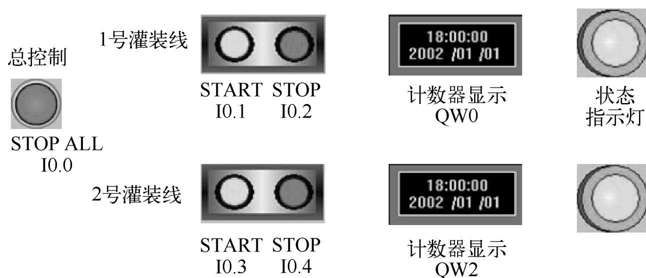


图 8-15　面板示意图

8.4.1　系统软硬件配置

1. 系统的软硬件

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP3。

② 1 台 CPU 314C-2DP。

③ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

④ 2 台 SM322。

2. PLC 的 I/O 分配

PLC 的 I/O 分配见表 8-6。

表 8-6　PLC 的 I/O 分配表

名　　称	符　　号	输　入　点	名　　称	符　　号	输　出　点
总控制按钮	SB1	I0.0	1 号线计数		QW0
1 号线起动按钮	SB2	I0.1	2 号线计数		QW2
1 号线停止按钮	SB3	I0.2	1 号线显示	HL1	Q4.0
2 号线起动按钮	SB4	I0.3	2 号线显示	HL2	Q4.1
2 号线停止按钮	SB5	I0.4	1 号线电动机	KA1	Q4.3
1 号线瓶子到位传感器	SQ1	I1.0	2 号线电动机	KA2	Q4.5
1 号线计数传感器	SQ2	I1.1	1 号线电磁阀	YA1	Q4.2
2 号线瓶子到位传感器	SQ3	I1.2	2 号线电磁阀	YA2	Q4.4
2 号线计数传感器	SQ4	I1.3			

3. 控制系统的接线

控制系统的接线如图 8-16 所示。

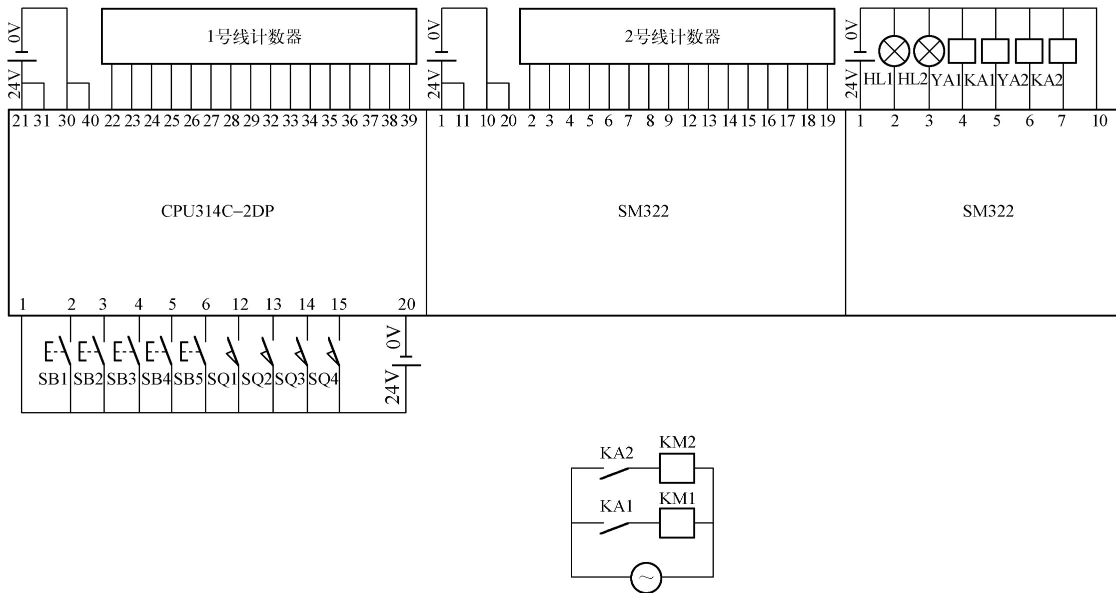


图 8-16　接线图

4. 硬件组态

先新建项目，命名为“灌装线”，配置 1 块模块 CPU314C-2DP 和 2 块 DO16x24V，如图 8-17 所示，并将 CPU314C-2DP 的输入地址修改为“IB0～IB2”，输入地址修改为“QB0～QB1”；然后将第一块 DO16x24V 的输出地址修改为“QB2～QB3”；将第二块 DO16x24V 的输出地址修改为“QB4～QB5”；这些地址在编写程序时，必须一一对应。

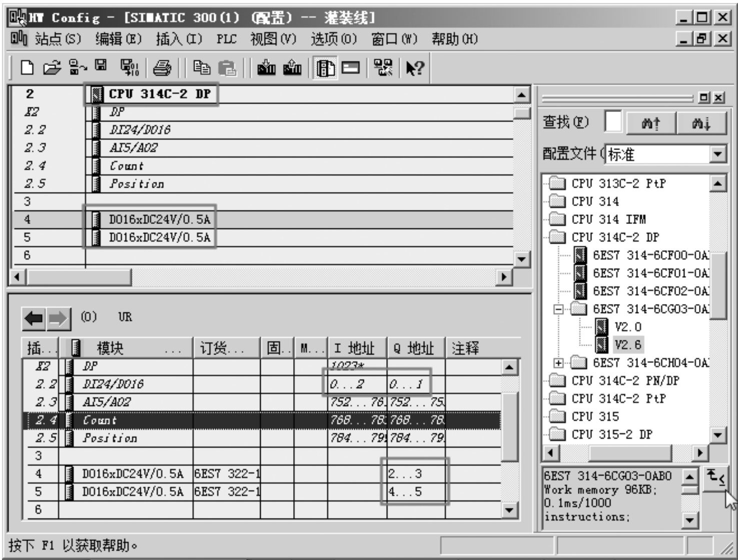


图 8-17　硬件组态

8.4.2 编写控制程序

1. 输入符号表

按照如图 8-18 所示输入符号表，在实际工程中，这项工作不能省略。

符号编辑器 - [S7 程序(1) (符号) -- 灌装线\SIMATIC 300(1)\CPU 314C-2 DP]

	状态	符号	地址		数据类型		注释
1		Bottling_Control	FB	1	FB	1	
2		Cntr_1	C	1	COUNTER		Line1 Bottling Counter
3		Cntr_2	C	2	COUNTER		Line2 Bottling Counter
4		Display_1	QW	0	WORD		Line1 Count Display
5		Display_2	QW	2	WORD		Line2 Count Display
6		FB1	DB	1	FB	1	
7		Fill_1	Q	4.2	BOOL		Line1 Bottling Control
8		Fill_2	Q	4.4	BOOL		Line2 Bottling Control
9		Filling_Status_1	M	0.0	BOOL		Line1 Bottling Status
10		Filling_Status_2	M	0.1	BOOL		Line2 Bottling Status
11		Line1_Status	Q	4.0	BOOL		Line1 Status(Run/Stop)
12		Line2_Status	Q	4.1	BOOL		Line2 Status(Run/Stop)
13		Motor_1	Q	4.3	BOOL		Line1 Motor Control
14		Motor_2	Q	4.5	BOOL		Line2 Motor Control
15		Operation_Con...	FC	1	FC	1	
16		Sensor_Fill_1	I	1.0	BOOL		Line1 Bottling Sensor
17		Sensor_Fill_2	I	1.2	BOOL		Line2 Bottling Sensor
18		Sensor_Full_1	I	1.1	BOOL		Line1 Bottling Full Sensor
19		Sensor_Full_2	I	1.3	BOOL		Line2 Bottling Full Sensor
20		Start_L1	I	0.1	BOOL		Line1 Start Signal
21		Start_L2	I	0.3	BOOL		Line2 Start Signal
22		Stop_All	I	0.0	BOOL		Stop All Lines
23		Stop_L1	I	0.2	BOOL		Line1 Stop Signal
24		Stop_L2	I	0.4	BOOL		Line2 Stop Signal
25		Timer_1	T	1	TIMER		Line1 Bottling Timer
26		Timer_2	T	2	TIMER		Line2 Bottling Timer
27							

按下 F1 获取帮助。

图 8-18 符号表

2. 编写 FC1 的梯形图

1）先新建功能 FC1，再在程序编辑器中声明 3 个输入参数：Start、Stop、Stop_All，如图 8-19 所示。

Contents Of: 'Environment\Interface\IN'

Name	Data Type	Comment
Start	Bool	启动信号
Stop	Bool	停止信号
Stop_All	Bool	总停信号

图 8-19 声明输入参数

2）接着在程序编辑器中声明 1 个输出参数：Plant_On，如图 8-20 所示。

Contents Of: 'Environment\Interface\OUT'

Name	Data Type	Comment
Plant_On	Bool	灌装线状态信号

图 8-20 声明输出参数

3）编写 FC1 的梯形图，如图 8-21 所示，其功能实际就是起/停控制。

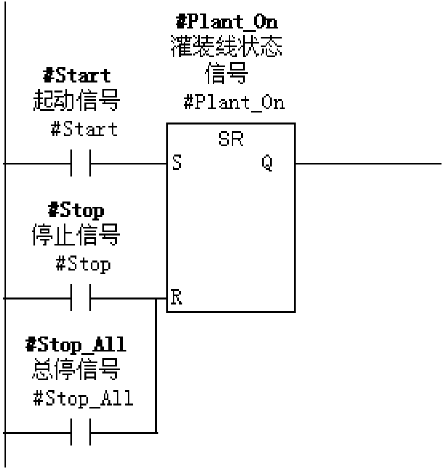


图 8-21　FC1 中的梯形图

3. 编写 FB1 的梯形图

1）先新建功能块 FB1，再在程序编辑器中，声明 5 个输入变量，要特别注意变量的数据类型，如图 8-22 所示。

接口
IN
Plant_On
Bot_Counter
Bot_Timer
Sensor_Fill
Sensor_Full
OUT
IN_OUT
STAT
TEMP

内容：'环境\接口\IN'

名称	数据类型	地址	初始值	排除地址	终端地址	注释
Plant_On	Bool	0.0	FALSE	□	□	灌装线状态信号
Bot_Counter	Counter	2.0		□	□	满瓶计数器
Bot_Timer	Timer	4.0		□	□	灌装定时器
Sensor_Fill	Bool	6.0	FALSE	□	□	灌装传感器信号
Sensor_Full	Bool	6.1	FALSE	□	□	满瓶计数传感器信号

图 8-22　声明输入参数

2）在程序编辑器中，声明 2 个输出变量，如图 8-23 所示。

接口
IN
OUT
Display
Filling_Active
IN_OUT
STAT
TEMP

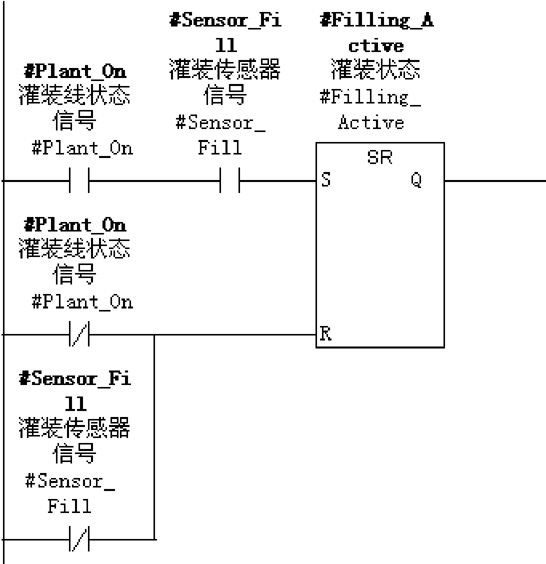
内容：'环境\接口\OUT'

名称	数据类型	地址	初始值	排除	终端地址	注释
Display	Word	8.0	W#16#0	□	□	BCD 码计数值
Filling_Active	Bool	10.0	FALSE	□	□	灌装状态

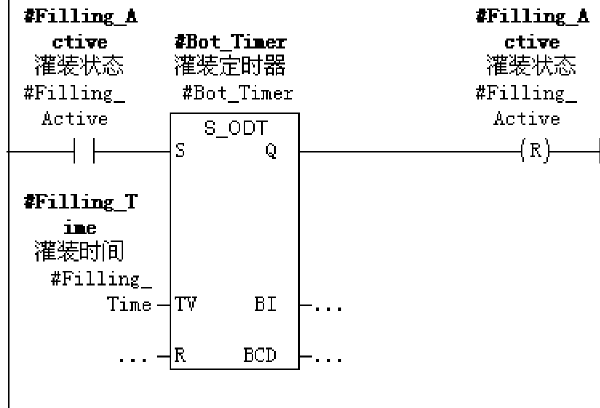
图 8-23　声明输出参数

3）编写 FB1 的梯形图，如图 8-24 所示。

程序段 1：标题：



程序段 2：标题：



程序段 3：标题：

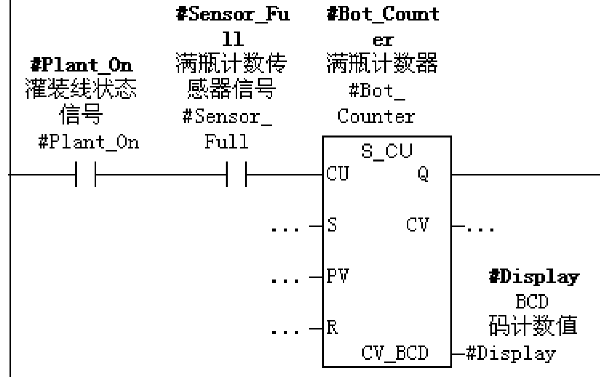
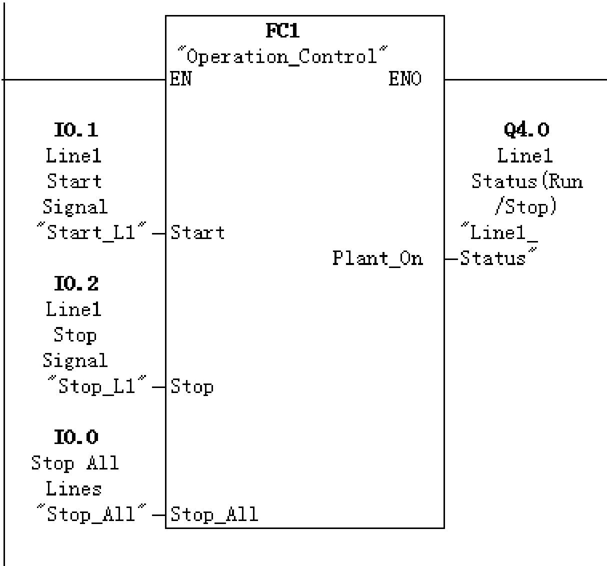


图 8-24　FB1 中的梯形图

4. 编写 OB1 的梯形图

主程序梯形图如图 8-25 所示。



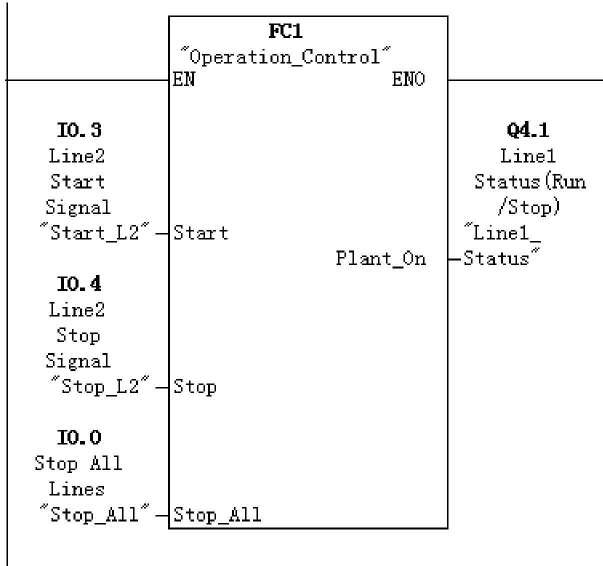


图 8-25　OB1 中的梯形图

程序段 3：标题：

1号灌装线的运行状态信号（Line_1_Status），计数器Cntr_1、定时器Time_1和1号灌装线的传感器信号，FB1的满瓶计数值输出到Display_1，输出灌装状态信号Filling_status_1。

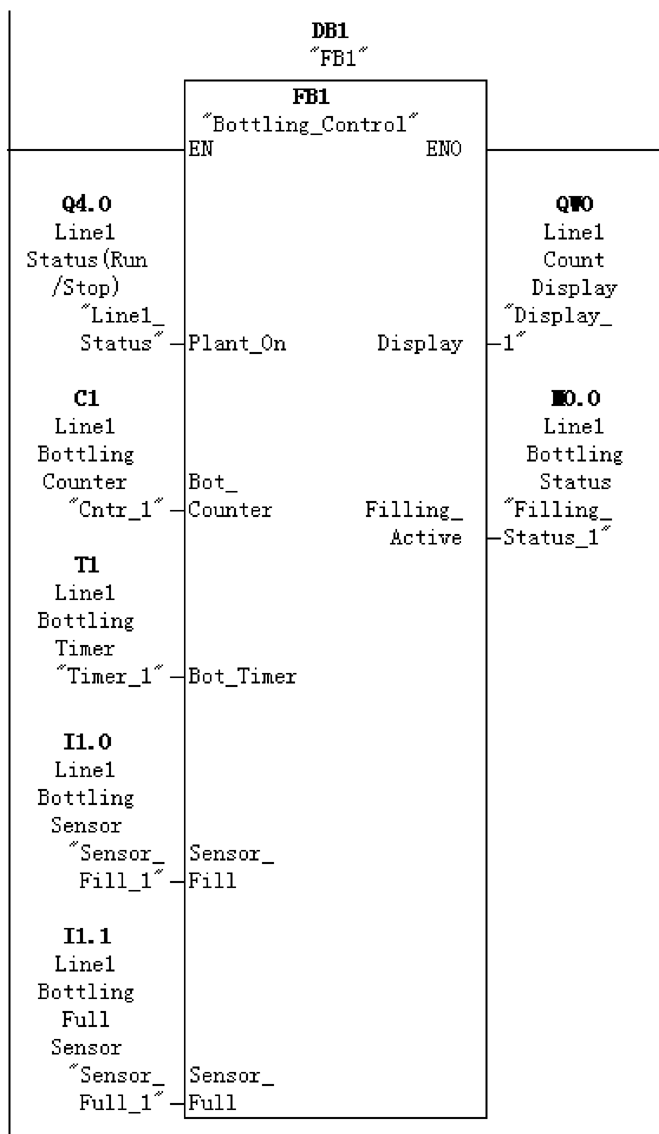


图 8-25　OB1 中的梯形图（续）

程序段 5：标题：

2号灌装线的运行状态信号。

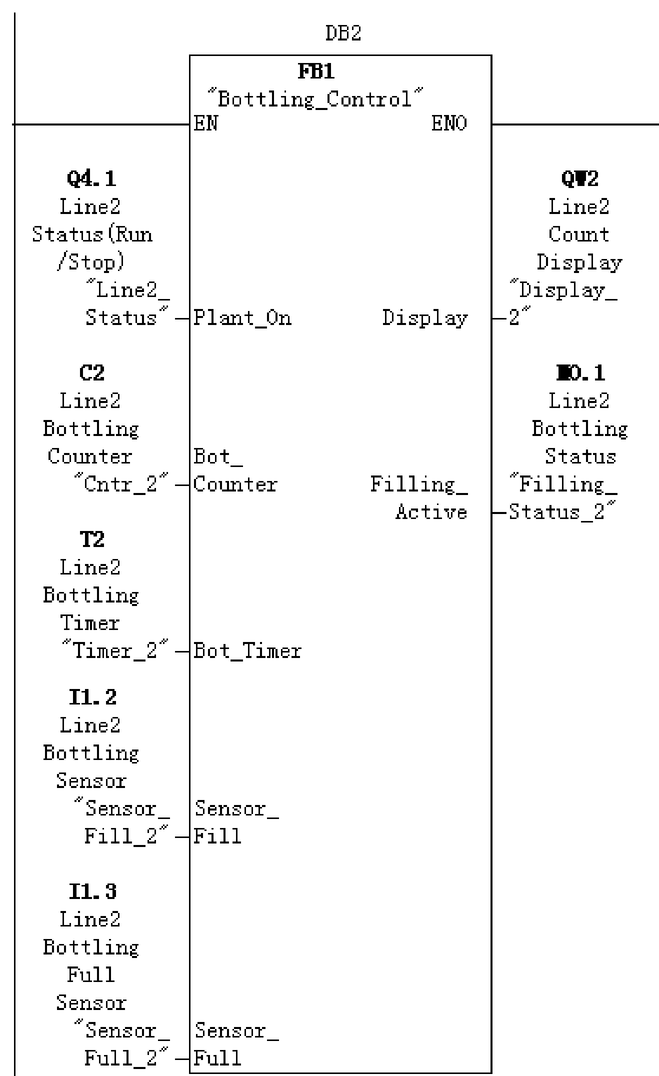
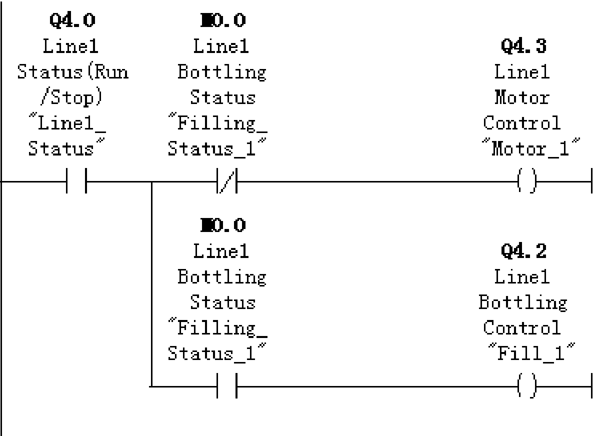


图 8-25　OB1 中的梯形图（续）

程序段 5： Line1 Motor Control

1号灌装线动作。



程序段 6： Line1 Motor Control

2号灌装线动作。

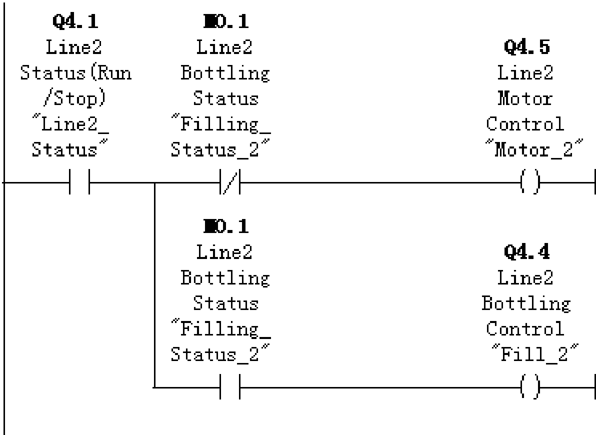


图 8-25　OB1 中的梯形图（续）

8.5　往复运动小车 PLC 控制系统

【例 8-5】 有一台小车，由 CPU314C-2DP 控制一台 MM440 变频器拖动，原始位置有限位开关 SQ1。已知电动机的技术参数，功率为 0.75 kW，额定转速为 1400 r/min，额定电压为 380 V，额定电流为 2.05 A，额定频率为 50 Hz。系统有 2 种工作模式。

1）自动模式时，当在原始位置，按下启动按钮 SB1 时，三相异步电动机以 30 Hz 正转，驱动小车前进，碰到限位开关 SQ2 后，三相异步电动机以 40 Hz 反转，小车后退，当碰到减速限位开关 SQ3 后时，三相异步电动机以 10 Hz 反转，小车减速后退，碰到原始位置有限位

开关 SQ1，小车停止。按下停止 SB2 按钮时，小车完成一个工作循环后停机。

2）手动模式时，有前进和后退点动按钮，点动的频率都是 20 Hz。

3）处于运行状态时，指示灯亮。

4）变频器离 CPU314C-2DP 较远，采用现场总线通信。

5）任何时候，按下急停 SB3 按钮，系统立即停机，请设计方案，并编写程序。

8.5.1 系统软硬件配置

1. 系统的软硬件

① 1 套 STEP 7 V5.5 SP3。

② 1 台 CPU 314C-2DP。

③ 1 根编程电缆（或者 CP5611 卡）。

④ 1 台 MM440 变频器（带 PROFIBUS 模版）。

⑤ 1 台 IM153-1。

⑥ 1 台 SM321。

2. PLC 的 I/O 分配

PLC 的 I/O 分配见表 8-7。

表 8-7 PLC 的 I/O 分配表

名称	符号	输入点	名称	符号	输出点
起动按钮（主站）	SB1	I0.0	指示灯	HL1	Q0.0
停止按钮（主站）	SB2	I0.1	指示灯	HL2	Q0.1
急停按钮（主站）	SB3	I0.2			
启动按钮（从站）	SB4	I3.0			
停止按钮（从站）	SB5	I3.1			
急停按钮（从站）	SB6	I3.2			
初始位置（从站）	SQ1	I3.3			
前极限位置（从站）	SQ2	I3.4			
减速位置（从站）	SQ3	I3.5			
前前极限位置（从站）	SQ4	I3.6			
后后极限位置（从站）	SQ5	I3.7			
点动按钮（向前，从站）	SB7	I4.0			
点动按钮（向后，从站）	SB8	I4.1			
手/自转换按钮（从站）	SA1	I4.2			

3. 控制系统的接线

控制系统的接线如图 8-26 和图 8-27 所示。

4. 硬件组态

首先创建项目，命名为“小车往复（通信）”，先组态变频器，如图 8-28 所示，站地址为“3”，输出数据区为“PQW256～PQW260”（PLC 输出到变频器地址），输入数据区为“PIW256～PIW260”（PLC 接收变频器反馈地址）。再组态远程 IO 模块 IM153-1 和 EM323，如图 8-29 所示，站地址为“4”，输入数据区为“PIW3～PIW4”。这些数据在编写程序时都会用到。

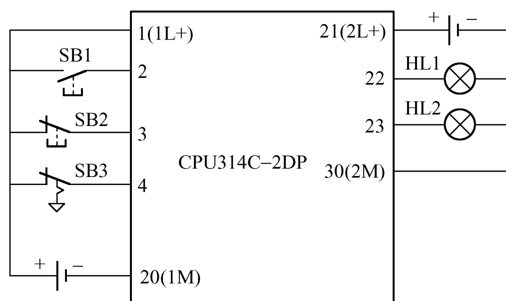


图 8–26　主站接线图

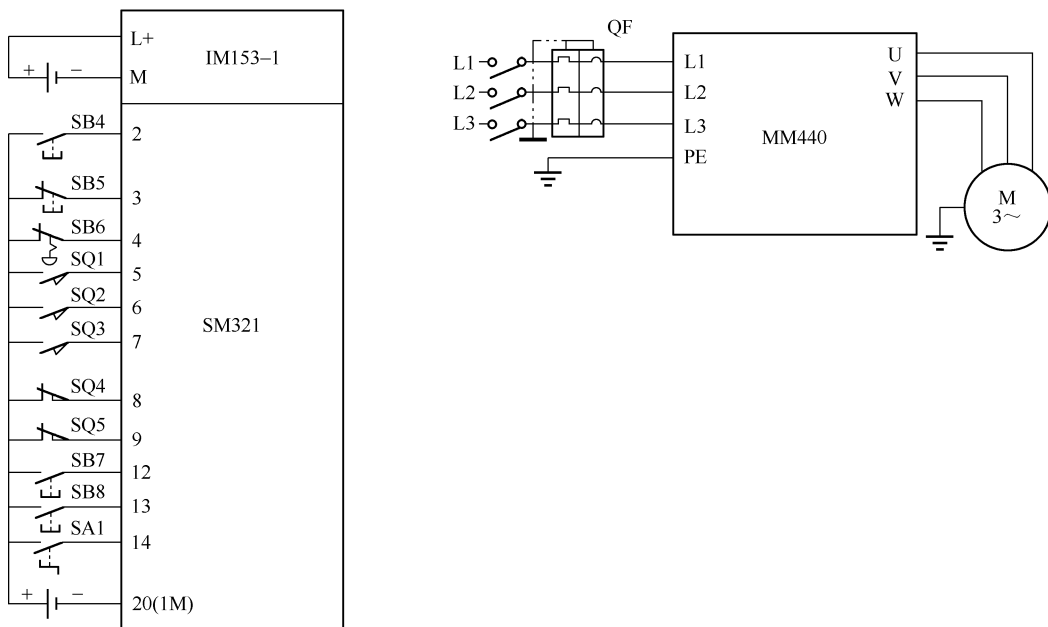


图 8–27　从站接线图

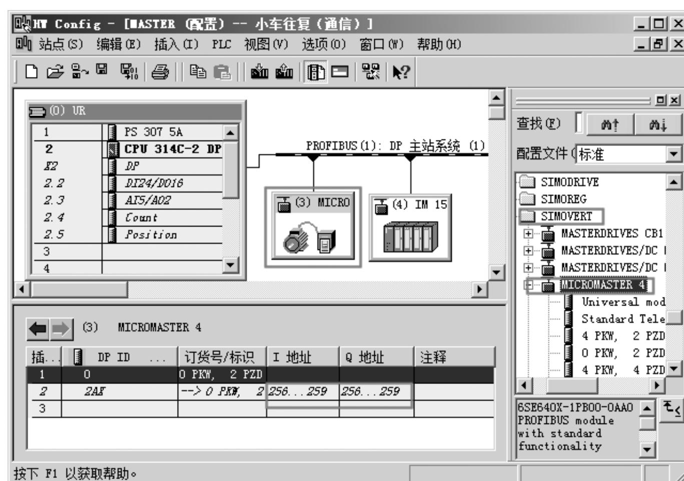


图 8–28　硬件组态（1）

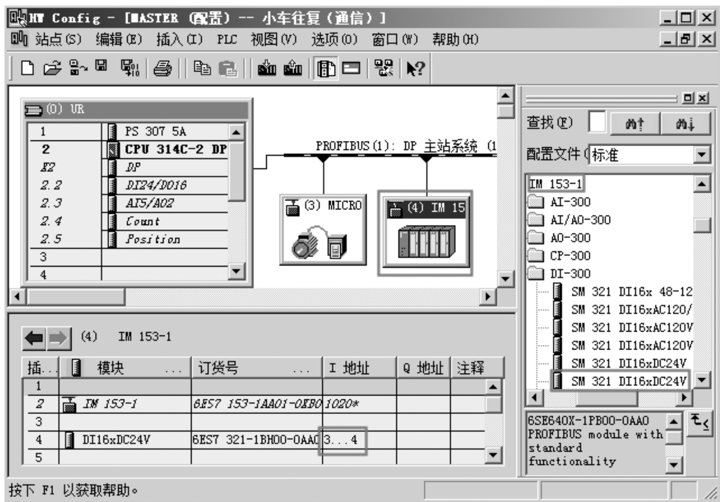
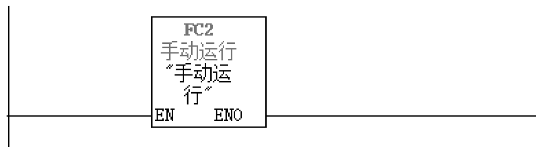


图 8-29　硬件组态（2）

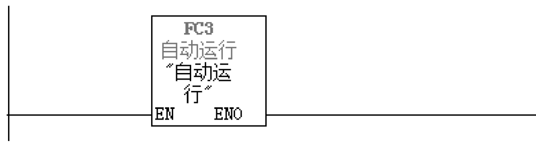
8.5.2　编写控制程序

编写程序如图 8-30 ~ 图 8-38 所示。

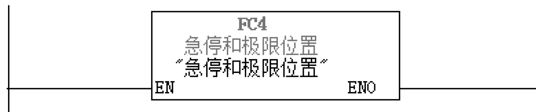
⊟ **程序段 1**：手动



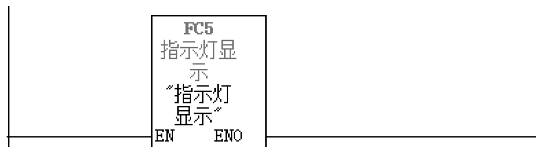
⊟ **程序段 2**：自动运行



⊟ **程序段 3**：急停、极限位保护和模式转换



⊟ **程序段 4**：指示灯显示



⊟ **程序段 5**：报警

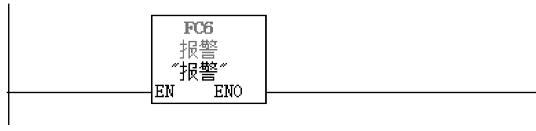


图 8-30　OB1 中的梯形图

⊟ **程序段 1**：标题：

```
       SET
       SAVE
       =      L      20.1
       L      #OB86_EV_CLASS
       L      B#16#39
       ==I
       JCN    M001
       SET
       =      "机架故障"
       JU     M002
M001:  L      #OB86_EV_CLASS
       L      B#16#38
       ==I
       JCN    M002
       CLR
       =      "机架故障"
M002:  CLR
       A      L      20.1
       SAVE
       BE
```

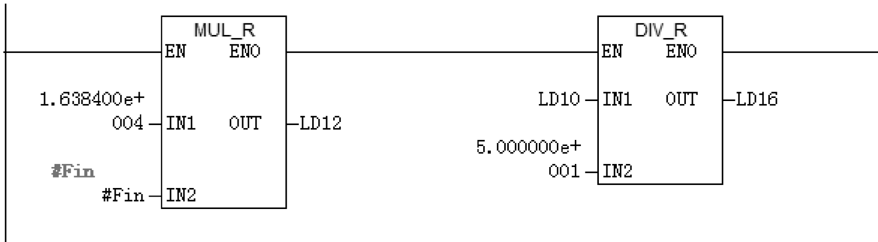
图 8-31　OB86 中的指令表

⊟ **程序段 1**：标题：

```
       SET
       SAVE
       =      L      20.1
       A      "通信故障"
       NOT
       JCN    M001
       SET
       =      "通信故障"
M001:  CLR
       A      L      20.1
       SAVE
       BE
```

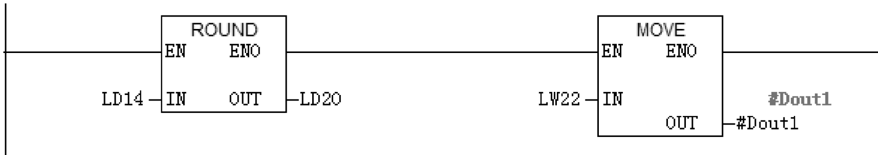
图 8-32　OB87 中的指令表

⊟ **程序段 1**：标题：



⊟ **程序段 2**：标题：

LW18中存放的就是规格化后的频率值



⊟ **程序段 3**：标题：

运行方向

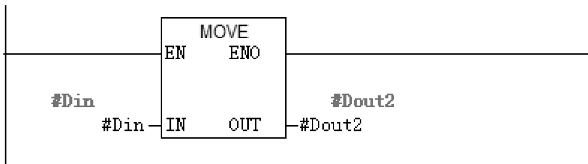


图 8-33　FC1 中的梯形图

⊟ **程序段 1**：手动控制

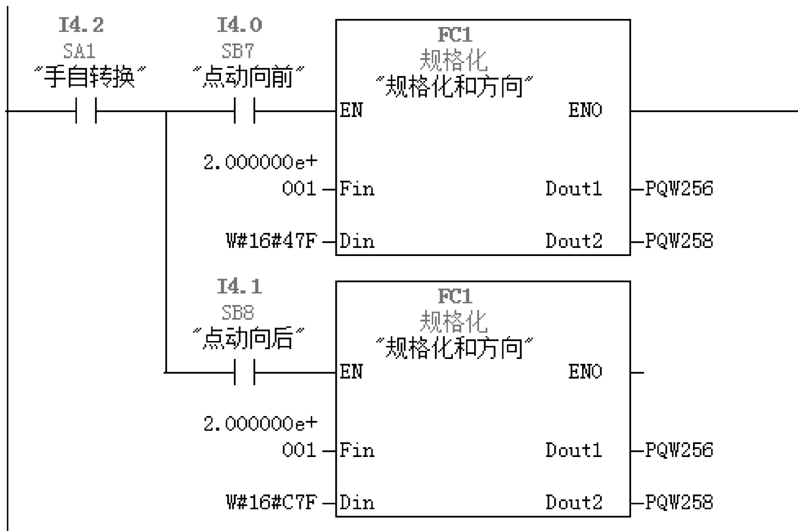
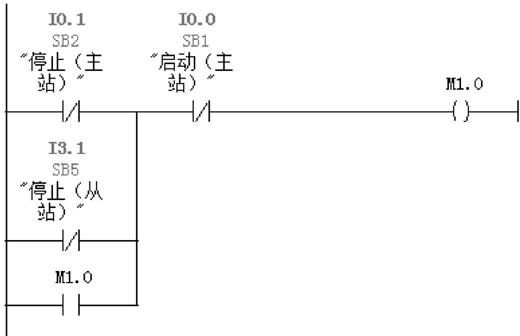


图 8-34　FC2 中的梯形图

⊟ **程序段 1**：停止



⊟ **程序段 2**：前进

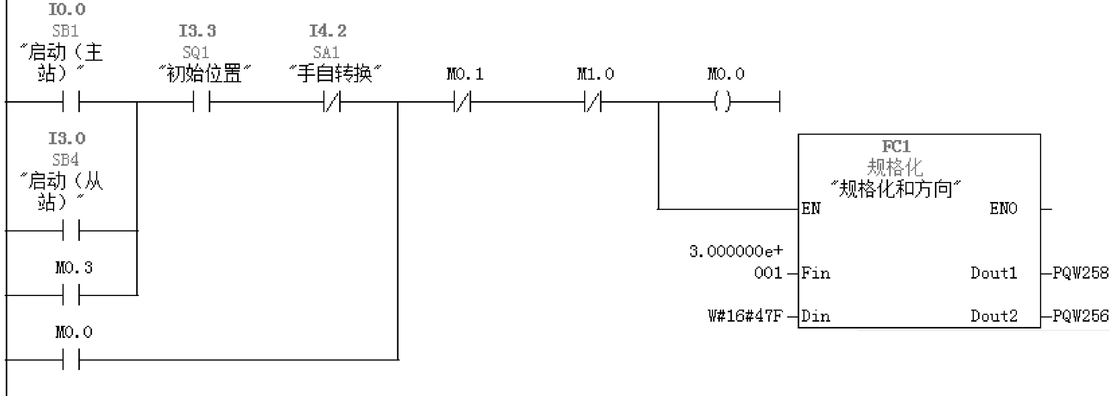
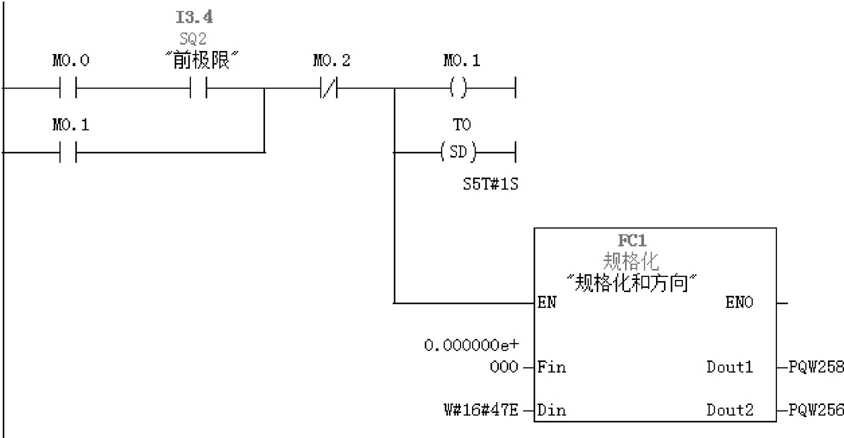
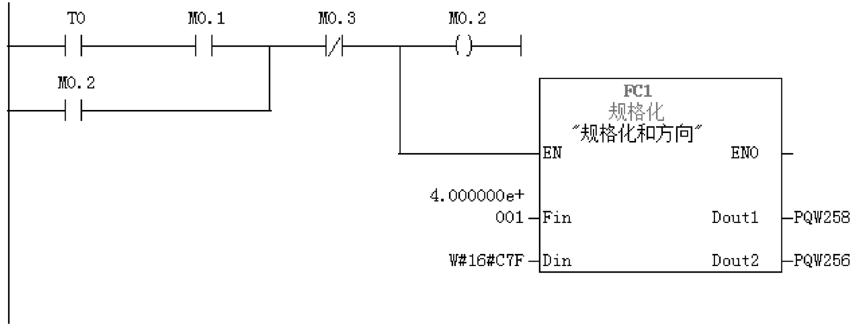


图 8-35　FC3 中的梯形图

⊟ **程序段 3**：停止1秒钟



⊟ **程序段 4**：快速后退



⊟ **程序段 5**：减速后退

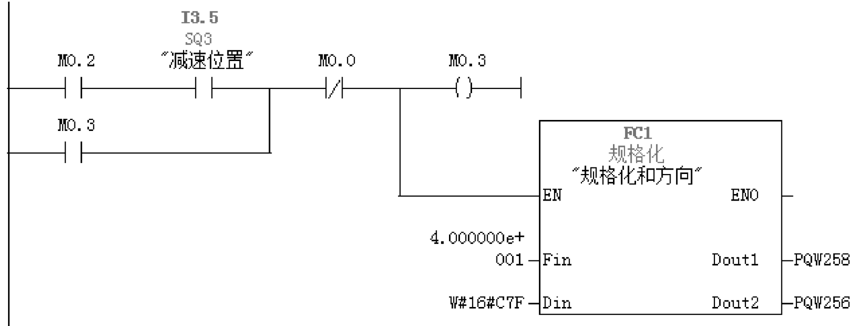


图 8-35　FC3 中的梯形图（续）

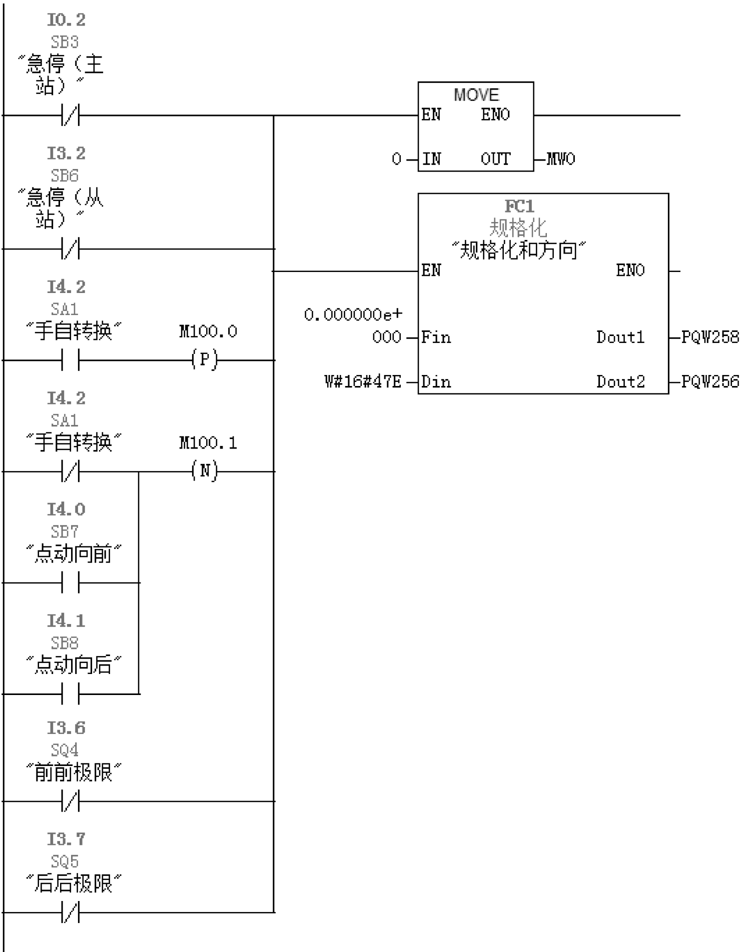


图 8-36　FC4 中的梯形图

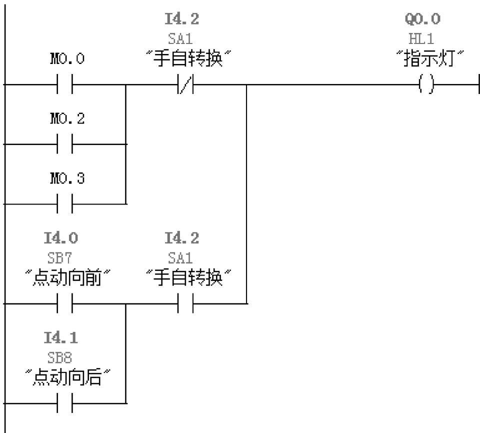


图 8-37　FC5 中的梯形图

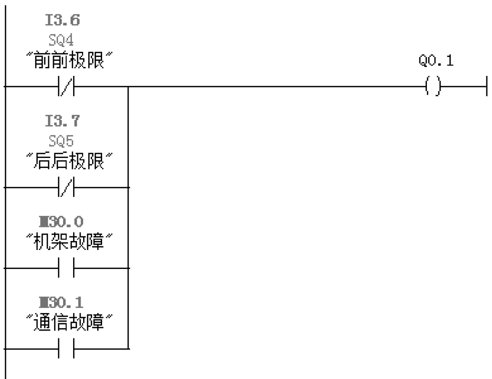


图 8-38　FC6 中的梯形图

参 考 文 献

[1] 向晓汉．西门子 PLC 高级应用实例精解［M］．北京：机械工业出版社，2010.
[2] 向晓汉．西门子 PLC 工业通信完全精通教程．北京：化学工业出版社，2013.
[3] 刘楷．深入浅出 西门子 S7-300 PLC［M］．北京：北京航空航天大学出版社，2004.
[4] 柴瑞娟．西门子 PLC 编程技术及工程应用［M］．北京：机械工业出版社，2007.
[5] 张运刚．从入门到精通——西门子 S7-300/400 PLC 技术与应用［M］．北京：人民邮电出版社，2007.
[6] 秦益霖．西门子 S7-300 PLC 应用技术［M］．北京：电子工业出版社，2007.
[7] 廖常初．S7-300/400 PLC 应用技术［M］．北京：机械工业出版社，2005.
[8] 向晓汉．S7-200 PLC 基础及工程应用［M］．北京：机械工业出版社，2014.
[9] 崔坚．西门子工业网络通信指南［M］．北京：机械工业出版社，2009.
[10] 廖常初．S7-200 PLC 基础教程［M］．北京：机械工业出版社，2007.
[11] 向晓汉．S7-300/400 PLC 基础与案例精选［M］．北京：机械工业出版社，2011.
[12] 西门子（中国）有限公司．MICROMASTER 440 标准变频器使用大全，2007.
[13] 周健．网络技术基础［M］．北京：人民邮电出版社，1998.

在线互动交流平台
官方微博：http://weibo.com/cmpjsj
豆 瓣 网：http://site.douban.com/139085/
读者信箱：cmp_itbook@163.com

西门子PLC
高级应用实例精解



第2版

本书特色

- 本书以S7-200/300/400/1200 PLC为研究对象，从工程需要的角度深入剖析西门子系列PLC在逻辑控制、过程控制、运动控制和通信技术应用中的重点和难点；
- 本书用150多个案例引导读者学习；
- 本书作者多来自企业，故着眼工程应用。所有工程实例均为作者团队编写。

地址：北京市百万庄大街22号
邮政编码：100037
电话服务
服务咨询热线：010-88361066
读者购书热线：010-68326294
010-88379203
网络服务
机工官网：www.cmpbook.com
机工官博：weibo.com/cmp1952
教育服务网：www.cmpedu.com
金 书 网：www.golden-book.com
封面无防伪标均为盗版


机械工业出版社微信公众号

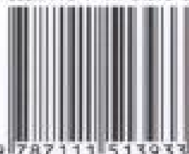

计算机分社微信服务号

上架指导 工业技术/PLC

ISBN 978-7-111-51393-3

策划编辑◎时 静 / 封面设计◎





定价：59.80元